

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

**Departamento de Estomatología IV (Profilaxis, Odontopediatría y
Ortodoncia)**



TESIS DOCTORAL

**Aplicación de sistemas tridimensionales para el aprendizaje en
odontopediatría**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

M^a Begoña Gómez Legorburu

Directores

Paloma Planells del Pozo
José Ramón Mérida Velasco

Madrid, 2015



Universidad Complutense de Madrid
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Departamento de Estomatología IV
(Profilaxis, Odontopediatría y Ortodoncia)

Aplicación de sistemas tridimensionales para el aprendizaje en Odontopediatría

TESIS DOCTORAL

Autora: M^a Begoña Gómez Legorburu

Directores: Dra. Paloma Planells del Pozo

Dr. José Ramón Mérida Velasco

A amama y aitite.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a todas las personas que directa o indirectamente han participado en la consecución de este trabajo de investigación:

A la doctora Paloma Planells, mi directora, por su inmensa paciencia, disposición absoluta siempre, a cualquier hora y en cualquier lugar. Por saber entender en todo momento lo que necesitaba, por escucharme, asesorarme y alentarme cuando ha sido necesario.

Al doctor José Ramón Mérida, mi co-director, por su dedicación absoluta a la labor docente e investigadora, por su plena disponibilidad, por sus asesoramientos tan bien dirigidos y por supuesto por las increíbles aportaciones en el campo anatómico y embriológico.

A la empresa Desarrollos Informáticos Abadía, en especial a Juanjo y Marco, por proporcionarme el programa Amira y por su paciencia y disposición a la hora de enseñarme a trabajar en el mundo virtual.

A los profesores que me he ido encontrando en mis años de formación odontológica, por despertar en mi la labor investigadora y enseñarme que hay vida después de la consulta.

A mis compañeros de carrera y los que he ido conociendo a lo largo de mi formación postgraduada. Por escuchar siempre, compartir agobios y por los apoyos recibidos para que este proyecto fuese una realidad.

A mi madre y hermano, que siempre han comprendido que este era el momento, y siempre han sabido ayudarme. A mi madre especialmente, porque siempre se ha preocupado de darnos una gran educación y enseñarnos a ser personas. A la familia que ya no está y a la que va dedicada esta tesis, porque siempre me enseñaron la perseverancia y la bondad como principios del día a día.

A mis amigos y compañeros de clínica, por su ayuda y comprensión.

A Juanjo, por encontrarte con este proyecto empezado y entender que había que acabarlo sí o sí. Por aguantarme día a día, por comprender mis defectos y por estar siempre ahí.

ÍNDICE

Índice general

	Página
<u>ABSTRACT</u>	<u>VI</u>
<u>1.-INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN</u>	<u>1</u>
<u>2.-ANTECEDENTES DEL TEMA</u>	<u>6</u>
2.1. Conceptos básicos y generales sobre la informática	7
2.1.1. Antecedentes históricos de de la informática	8
2.1.2. Generación de computadoras	9
2.2. Informática aplicada a la docencia médica	11
2.3. Programas para la visualización de datos biomédicos	13
2.4. Bases embriológicas y anatómicas en el área orofacial	14
2.4.1. Crecimiento y desarrollo de las arcadas	14
2.4.1.1. Desarrollo de la cara	14
2.4.1.2. Desarrollo de la mandíbula	18
2.4.1.3. Desarrollo del maxilar	22
2.4.2. Anatomía del macizo maxilofacial	24
2.4.2.1. La mandíbula	24
2.4.2.2. El maxilar	28
2.5. Anatomía de la dentición temporal	34
2.5.1. Descripción general	34
2.5.2. Diferencias esenciales entre la dentición temporal y la permanente	34
2.5.3. Descripción detallada de cada diente temporal	34
2.5.3.1. Incisivo central maxilar	35
2.5.3.2. Incisivo lateral maxilar	35
2.5.3.3. Canino maxilar	36
2.5.3.4. Primer molar maxilar	37
2.5.3.5. Segundo molar maxilar	38
2.5.3.6. Incisivo central mandibular	39
2.5.3.7. Incisivo lateral mandibular	40
2.5.3.8. Canino mandibular	40
2.5.3.9. Primer molar mandibular	41
2.5.3.10. Segundo molar mandibular	43

2.6. Desarrollo y erupción dentaria	44
2.6.1. Lámina dentaria	45
2.6.2. Lámina vestibular	45
	Página
2.6.3. Estadios de desarrollo y maduración dentaria	46
2.6.3.1. Estadio de brote	46
2.6.3.2. Estadio de casquete	47
2.6.3.3. Estadio de campana	49
2.6.3.4. Formación de los tejidos duros	51
2.6.3.5. Formación de la raíz	53
2.6.4. Determinación del patrón dentario	53
2.6.5. El fenómeno eruptivo	54
2.6.6. Erupción de la dentición temporal	55
 3.-HIPÓTESIS DE TRABAJO	 57
 4.-OBJETIVOS	 59
 5.-MATERIAL Y MÉTODO	 61
5.1. Material	62
5.2. Método	62
 6.-RESULTADOS	 65
 7.-DISCUSIÓN	 81
 8.-CONCLUSIONES	 93
 9.- BIBLIOGRAFÍA	 95
 10.- ANEXO	 105

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Visión lateral de un modelo de embrión humano de 19 días aproximadamente	15
Figura 2: Modelo de desarrollo facial de un espécimen de 41 días de desarrollo	16
Figura 3: Modelo de desarrollo facial (6 semanas intrauterino)	17
Figura 4: Corte transversal de la región mandibulosinfisaria de un espécimen humano de 12 semanas	18
Figura 5: Sección de mandíbula en donde el cartílafo de Meckel se ha reabsorbido	19
Figura 6: Evolución mandibular del niño al adulto	22
Figura 7: Desarrollo temprano del maxilar	23
Figura 8: Visión lateral de una mandíbula de recién nacido	24
Figura 9: Visión lateral de una mandíbula de un adulto	24
Figura 10: Cara externa del maxilar superior	33
Figura 11: Cara vestibular y palatina del incisivo central maxilar derecho	35
Figura 12: Cara vestibular y palatina del incisivo lateral maxilar derecho	36
Figura 13: Cara vestibular y palatina del canino maxilar derecho	36
Figura 14: Cara vestibular y palatina del primer molar maxilar derecho	38
Figura 15: Cara vestibular y palatina del segundo molar maxilar derecho	39
Figura 16: Cara vestibular y palatina del incisivo central mandibular derecho	40
Figura 17: Cara vestibular y palatina del incisivo lateral mandibular derecho	40
Figura 18: Cara vestibular y palatina del canino mandibular derecho	41
Figura 19: Cara vestibular y palatina del primer molar mandibular derecho	42
Figura 20: Cara vestibular y palatina del segundo molar mandibular derecho	44
Figura 21: Representación esquemática del cambio de orientación de los husos y el plano escisional durante la formación de las bandas epiteliales y la lámina dentaria	44
Figura 22: Corte coronal de una cabeza de un feto humano	46

	Página
Figura 23: Esquema de la formación del brote dentario	47
Figura 24: Etapa de casquete inicial	48
Figura 25: Etapa de casquete terminal	49
Figura 26: Estadio de campana	50
Figura 27: Esquema de trabajo del programa Amira	64
Figura 28: Imagen de la pantalla de inicio principal del programa Amira 5.3.0	66
Figura 29: Reproducción 3D de la cabeza del cadáver en visiones laterales y frontal	67
Figura 30: Botón de acceso a la herramienta de segmentación	67
Figura 31: Pantalla de segmentaciones	68
Figura 32: Comienzo de la segmentación mandibular	68
Figura 33: Estructuras segmentadas y etiquetadas	69
Figura 34: Visión frontal mandibular	70
Figura 35: Visión coronal mandibular	71
Figura 36: Visión lateral derecha mandibular	72
Figura 37: Visión lateral izquierda mandibular	72
Figura 38: Visión frontal del maxilar	73
Figura 39: Visión palatina del maxilar	74
Figura 40: Figura lateral derecha del maxilar	75
Figura 41: Figura lateral izquierda del maxilar	75
Figura 42: Visión frontal del complejo máximo-mandibular	76
Figura 43: Visión lateral derecha e izquierda del complejo máximo-mandibular	77
Figura 44: Visión coronal del complejo máximo-mandibular	78
Figura 45: Visión inferior del complejo máximo-mandibular	79

Índice de tablas

	Página
Tabla 1: Cronología del desarrollo de la dentición temporal	56
Tabla 2: Principales diferencias del proyecto descrito en este trabajo de investigación con otros proyectos	83

ABSTRACT

APPLICATION OF THREE DIMENSIONAL MODELS FOR LEARNING IN PEDIATRIC DENTISTRY

1. Introduction

The creation of digital databases of the human body is an essential but complex task. The “*Visible Human Project*” (VHP) was developed in the late 1980s by the U.S. National Library of Medicine to create a digital interactive model that integrates the anatomical, physiological and biomechanical characteristics of the human body. The project produced a gallery of digital images from cadavers (male and female) that includes digitized cryosections, computed tomography (CT) images, and magnetic resonance images . These developments supported the new concept of virtual teaching in the field of anatomy, which offers considerable advantages over conventional teaching using preserved human cadavers. 3D reconstructions are very precise and allow students to visualize any organ in all possible spatial planes and to explore relationships among them. The VHP has been used by students, professors, and industrial groups in over 100 countries since it became available in a database of the Health Sciences Center of the University of Colorado in December 1995.

Between 2000 and 2005, the University of Ajou in Korea and the Korean Institute of Sciences and Technology Information developed the “*Visible Korean Human*” (VKH) project based on the cadaver of a 33-yr-old patient. In 2001, the 174th Xiangshan Science Conference launched the “*Chinese Visible Human*” (CVH) project to represent male and female Asian individuals, with the “visible” man being produced in 2002 and the female in 2003. In Germany, the University Medical Center Hamburg-

Eppendorf created the “*Voxel Man*”, an anatomical database of high-resolution 3D images used for surgical simulations and the creation of virtual body models.

With this background, we have created a 3D model of the maxilla and mandible of a 3-year-old girl to serve as an educational aid in dentistry courses on anatomy, pediatric dentistry, and dental surgery.

2. Objectives

The main objective of this project is to create a virtual model of the maxillofacial complex, based on a real child subject to serve as an educational tool in the field of pediatric dentistry.

Secondary objectives

1. To create a three dimensional representation of each germ of the permanent tooth.
2. To create the three-dimensional representation of each of all teeth present in the infant human head analyzed.

3. Material and Method

The maxilla and the mandible of a 3-yr-old female cadaver were examined with CT, obtaining 512 slices in coronal (xy) and sagittal (yz) planes and 309 in cross-sectional (xz) plane. The slice thickness was 0.433595 mm for sagittal and coronal slices and 0.625 mm for cross-sectional slices, giving a voxel size of 0.11750 mm³. Application of the Amira 5.3.0 program (Visualization Sciences Group) to the slices allows the visualization of images in coronal, sagittal, and cross-sectional planes. The user can interact in each plane, moving from slice to slice for close examination of all bone structures and cavities. 3D reconstruction of the image is performed by transforming the 2D pixels into 3D voxels.

Anatomical structures captured by the scanner are three-dimensionally labeled and reconstructed in a process known as segmentation. All of the structures, which are manually delineated in two planes and semi-automatically transformed into a 3D system, are given their corresponding label (e.g., individual teeth, germs, etc.). In this way, when the user clicks on a given structure, it is labeled on all spatial planes and the 3D structure is automatically generated, with an appropriate spatial organization.

We segmented and labeled the maxillar and mandibular bones, including all erupted deciduous teeth and germs of permanent teeth, using a random color code and the anatomical designation of the different structures, following the English version of the Spanish *FCAT* terminology.

4. Results

After segmenting and labeling all the structures, the Amira program was used to create an interactive 3D volumetric model. Each structure could be individually isolated, allowing modification of the plane of view, observation of anatomical relationships between deciduous teeth and permanent tooth germs, and the differentiation of anatomical structures, among others.

5. Discussion

Anatomy teaching is conventionally based on atlases and dissections. An atlas provides clear and detailed but two-dimensional images of elements to be studied, whereas dissections introduce students to three-dimensional reality, including spatial organization, relationships, and insertions, etc. However, the dissection approach has some major drawbacks, including difficulties in obtaining cadavers and the limited duration of their usefulness

The VHP, CVH, and VKH projects have served as the basis for various applications. VHP images of the cranial skeleton and brain have been widely used for

mapping structures and for creating simulators and finite models. Virtual databases of this type have been developed for all organs and systems, notably for the cardiopulmonary system, with the production of numerous simulators to assist surgical planning. Other examples include visualization of the lumbar area based on VKH and the creation of prostate and hepatic models based on CVH.

No studies have been published on the use of 3D models based on real specimens in the teaching of dentistry. In the present project, images were obtained from CT slices of a child's cranium in optimal preservation conditions. This is the first report of a 3D model based on a real infant.

3D models have previously been created for maxillofacial structures in adults. A 3D model of the mandible of an elderly male was created in China, based on the CVH project and using Photoshop; this system does not permit structure segmentation and labeling, limiting its interactivity and applications. However, the University of Ontario used a similar method to that in the present study to create a 3D head and neck model from CT images of an edentulous male cadaver. They also used the Amira program to segment and label the different structures for the 3D reconstruction. They segmented 70 structures, including soft structures (muscles, glands, etc.), which can be added or removed for detailed anatomical study. Given that the images derive from a CT study, the soft tissue segmentations are presumably simulated. The authors reported that learning is more dynamic and effective with the use of this interactive tool. Sizes can be varied as required, densities can be modified to improve the visualization of structures, and interaction is possible in different planes, working in either 2D or 3D.

Virtual models can also be used to acquire clinical skills. Numerous surgeons have used Voxel Man simulators and browsers to plan surgical procedures. Comparative studies on the effectiveness of cadaver-based models *versus* virtual models

found that the latter provided superior visualization and reproducibility and were less costly. It may be possible to develop highly realistic models with stereoscopic properties in which touch and pressure can be controlled by associating the software with a haptic system. Our model could potentially contribute to this development.

An important novelty of the present project is that it is based on an infant cadaver, given that systems have been based on adults to date. Knowledge of the developing maxillofacial complex, the eruption of teeth, and the formation of tooth germs is essential in the field of anatomy in general and in pediatric dentistry in particular.

6. Conclusions

1. Arrival of the educational system based on Bologna is a reality. The self-learning based on trial and error, is a very useful strategy for the student. With an interactive model, the student is able to assess their knowledge instantly, without the physical presence of the teacher.

2. Through this real model, we have described the deciduous dentition, as well as their interactions with the permanent dentition, using a three dimensional system.

3. The images collected from germs of permanent teeth, let us to evaluate these structures individually with a 3D model in a real subject.

4. Our objectives for future work will be directed to the possibility of making improvements on technological advances, such as the inclusion of haptic systems for clinical application to education in dentistry.

1.- INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

Actualmente el sistema educativo universitario se encuentra inmerso en el nuevo plan Bolonia basado en un Espacio Europeo de Educación Superior competitivo y atractivo. Su fundamento es un aprendizaje permanente cuyos pilares son una evaluación continua y una enseñanza práctica. Así mismo los créditos no presenciales y la capacidad de autoevaluación por parte del alumno son claves para alcanzar los objetivos marcados en las diferentes titulaciones.

En este nuevo marco universitario, no somos capaces de concebir un campus sin su área informática, ni a un docente sin su soporte virtual como apoyo y mejora de sus lecciones. No obstante, la informática avanza a pasos agigantados y cada vez nos ofrece unas posibilidades más amplias y desconocidas.

Con la llegada de la era digital, la obtención de una base de datos digital del cuerpo humano se hace imprescindible. No obstante la digitalización del cuerpo humano es bastante compleja.(Zhang et al. 2003) Dada esta necesidad, surge el concepto de “*Virtual Human*”, como modelo interactivo digital que integra características anatómicas, fisiológicas y biomecánicas del cuerpo humano. En función del desarrollo de la base de datos con la que se trabaje, se podrán obtener archivos anatómicos, fisiológicos o funcionales de mayor complejidad. Estos estados de desarrollo se dividen en tres generaciones: El “Visible Human”, “Physical Human” y “Physiological Human”. La primera generación permite la visualización de estructuras anatómicas en tres dimensiones, mientras que las otras dos tratarán de reproducir las características físicas y fisiológicas del cuerpo humano, necesitando una tecnología más compleja.(Yuan et al. 2008)

Así, en el año 1987 la NLM (National Library of Medicine) planteó la necesidad de crear una biblioteca virtual de imágenes biomédicas. Ésta se basaría en la creación de una base de datos de imágenes completas de un hombre y una mujer; es lo que hoy conocemos como el “*Visible Human Project*” (en adelante VHP) . Este proyecto incluye imágenes tomadas de tomografías computarizadas, resonancias magnéticas y fotografías de criosecciones de cadáveres. En colaboración con la Universidad de Medicina de Colorado, consiguieron la adquisición ya en 1994 del cadáver varón y posteriormente el de la mujer. El varón era un hombre de 38 años sin patología previa. Con la intención de evitar un deterioro tisular, el cuerpo fue sometido al tratamiento con formalina y anticoagulantes, hasta llegar a la Universidad donde empezaría el trabajo

con él. En primer lugar se le realizó la resonancia magnética (a las 18 horas de la muerte), tomando imágenes en los planos axiales y coronales, para posteriormente ser sometido a la tomografía. Dado que posteriormente el cadáver iba a ser seccionado y congelado para las criosecciones y que las imágenes tomográficas debían corresponderse con las de la criosección, se inmovilizó el cadáver para conseguir dicha reproducibilidad. Se hicieron cortes transversales cada 3 mm. de cabeza y cuello, tórax, abdomen y pelvis, y cada 5 mm. en las extremidades inferiores. Posteriormente el cadáver fue congelado y vuelto a someter a tomografía, esta vez cada 1 mm. para corresponderse con las secciones adquiridas un año después a través de la criosección y que llevarían este espesor.(Spitzer et al. 1996) Una vez obtenidas las imágenes de las diferentes fuentes, se procesaron digitalmente, obteniéndose una reconstrucción tridimensional, así como los cortes pertinentes. Igualmente se creó una mujer. La única diferencia es que las secciones en vez de tomarse cada 1 mm., se tomaron cada tercio de milímetro.(VHP 2010) Dada la edad avanzada de la mujer, su útero y ovarios estaban atrofiados.(Yuan et al. 2008)

Este proyecto ha sido el punto de partida de un nuevo concepto, la enseñanza virtual en el campo de la anatomía, que, en opinión de los expertos, ofrece ventajas considerables respecto a la enseñanza convencional sobre cadáveres humanos conservados en medios específicos. Estas disecciones, dependen de donaciones que suelen ser escasas, caras y perecederas.(López 2003)

Además, las reconstrucciones tridimensionales obtenidas por estos métodos, son, para los profesores de estas materias, muy precisas, permitiendo al estudiante la visualización de cualquier órgano en todos los planos del espacio, sus relaciones... No es extraño por tanto, que desde su difusión a través de la base de datos creada por el Centro de Ciencias de la Salud de la Universidad de Colorado , en diciembre de 1995, el VHP esté siendo utilizado por estudiantes, profesores, grupos industriales en más de una centena de países.(Zhang et al 2003, Yuan et al. 2008)

Unos años después de la creación del VHP, surgieron nuevos modelos con la idea de mejorar lo ya creado. En 2001, la Universidad de Ajou en Korea, en colaboración con el Instituto Coreano de Ciencia y Tecnología de la Información, crearon el Visible Korean Human (VKH), a partir del cadáver de un hombre de 33 años de edad.(Park et al. 2006, Park et al. 2006) Con este proyecto pretendía mejorar las

imágenes obtenidas en el VHP, ya que por ejemplo las secciones no incluían rangos inferiores a los 0,33 mm., y los colores no eran reales debido a la inyección de formalina para el mantenimiento del cadáver, además de no incluir imágenes segmentadas.(Park et al. 2006) Por ello, sometieron el cadáver a resonancia magnética, en primer lugar, realizando cortes de 1 mm. sin dejar ningún tipo de gap entre cada sección, al igual que ocurrió con los cortes tomográficos efectuados cada 1mm. sin gaps intermedios. En ningún momento se inyectó ninguna sustancia conservante en el cuerpo, obteniéndose un aspecto similar al de un cadáver real. (Sun Shin, 2011) Posteriormente se realizaron, tras la congelación del cadáver, las crio-secciones, esta vez cada 0, 2 mm. Una vez digitalizados todos los datos obtenidos, se procedió a segmentar estructuras importantes (piel, huesos, hígado, pulmones, riñones, arterias, sistema urinario, respiratorio, digestivo, cerebro, corazón), algo que no se había realizado en el VHP.(Park et al. 2006, Park et al. 2006)

Con la idea de crear una base de datos anatómica, representativa de la población asiática, surge el Chinese Visible Human (CVH), un proyecto que incluye un hombre y una mujer sin patología significativa, que surge en 2002, con la creación de CVH varón, y en 2003 con la creación de la mujer. Ambos eran especímenes jóvenes, sanos que se ajustaban a lo que sería una población teórica real. El varón tenía 35 años de edad fallecido por inhalación de monóxido de carbono, y la mujer 22, fallecida por envenenamiento. A diferencia de lo que ocurrió en el proyecto coreano, a los cadáveres chinos se les inyectó una solución de gelatina roja, para mejorar la visualización del circuito arterial y venoso. Las secciones de la resonancia se efectuaron cada 3 mm., mientras que las tomográficas cada 1 mm. Las crio-secciones fueron menos precisas que las koreanas, ya que tuvieron un espesor de 0,5 mm. para cabeza y cuello, 0,1 mm. para la base del cráneo y 1 mm para el resto del cuerpo, en el varón y 0,25 mm. para cabeza y 0,5 mm. para el resto del cuerpo en la mujer Posteriormente los datos fueron digitalizados y reconstruidos tridimensionalmente, pero sin segmentarse.(Zhang et al. 2003, Zhang et al. 2004, Yuan et al. 2008)

En Alemania, el Centro Médico Universitario de Hamburgo- Eppendorf creó el “*Voxel Man*”, una base de datos anatómica con imágenes tridimensionales de alta resolución, aplicaciones en simulaciones quirúrgicas y modelos corporales virtuales a partir de las imágenes del varón del Visible Human.(Yuan et al. 2008, Voxel Man 2011)

Todos los avances en las técnicas de diagnóstico por la imagen unidos a la aparición de nuevos software, que aplican las mismas para el modelaje tridimensional han fomentado la creación de nuevas aplicaciones de uso, no sólo divulgativo, si no también con aplicaciones clínicas. (Schuteryser et al 2005, Marchetti et al. 2010, Varga et al. 2013) La planificación de las enseñanzas de Grado de Odontología en la Universidad Complutense se organiza en cinco módulos, divididos en materias. Siguiendo las directrices del Consejo de Gobierno de la Universidad Complutense de Madrid, las materias se dividirán a su vez en asignaturas. Así, el Grado de Odontología tendrá una duración de 300 créditos europeos, de los cuales 60 corresponden a Materias Básicas, de los cuales 36 corresponden a materias básicas de la rama de Ciencias de la Salud y los 24 restantes, corresponden a materias propias de la titulación. Del resto de ECTS del Grado, 174 son Materias Obligatorias, 36 son Optativas, 24 corresponden a prácticas tuteladas y 6 al trabajo fin de grado.

Entre las materias básicas de la rama de ciencias de la salud (36 ECTS), se incluye anatomía, perteneciente al primero de los cinco módulos: Ciencias Biomédicas básicas relevantes para la Odontología), con un total de 6 ECTS, que se impartirá en el primer curso. La Odontopediatría se incluye dentro del cuarto módulo: Terapéutica y Rehabilitación Odontológica, contando con 18 ECTS, divididos en dos cursos, tercero, con 6 ECTS y cuarto con 12 ECTS.

La implantación del nuevo modelo de Grado se ha ido realizando paulatinamente, de ahí que en la actualidad, las asignaturas de Anatomía y Odontopediatría se adapten al nuevo modelo. Con este nuevo modelo educativo, la implantación de nuevas tecnologías y nuevas plataformas como el Campus Virtual, permiten al alumno acceder a un proceso de autoevaluación, muchas veces más autocrítico y objetivo. Los modelos virtuales asociados a diferentes softwares y aplicaciones permitirían satisfacer estos objetivos plenamente.

Tomando como punto de partida los proyectos de “Virtual Human”, y la necesidad de una nueva educación adaptada a las nuevas tecnologías, surgió la idea de realizar este trabajo de investigación, basado en un modelo virtual de un sujeto en edad infantil. Para ello proponemos la creación de un modelo tridimensional del complejo maxilo-mandibular de una niña en crecimiento que sirva como instrumento educativo en el Ámbito de la Anatomía, Odontopediatría y Operatoria Dental.

2.- ANTECEDENTES DEL TEMA

2.1. CONCEPTOS BÁSICOS Y GENERALES SOBRE LA INFORMÁTICA

El origen del término “Informática” surge de la fusión de los términos INFORMación y autoMÁTICA. Entre las definiciones existentes, podemos reseñar las siguientes:

La informática es la “ciencia” que se encarga del tratamiento automático de la información. Para ello utiliza una herramienta, el ordenador. (Rubio 1996).

La informática es el conjunto de conocimientos científicos y técnicas que hacen posible el tratamiento automático y racional de la información por medio de los ordenadores. (Ureña et al. 1997)

El área informática más extendida es la denominada informática de usuario, centrada en el uso de un programa por parte de un usuario para desempeñar una tarea específica mediante ordenadores personales o PC.

La informática como ingeniería se ocupa de la arquitectura de los ordenadores, es decir, de su diseño (ingeniería de sistemas) y de cómo se deben desarrollar las grandes aplicaciones informáticas (ingeniería de software). También entran dentro del campo de la informática las tareas consistentes en escribir programas concretos que realicen tareas específicas (programación de aplicaciones).

En la actualidad la informática se sustenta en tres pilares básicos:

El elemento físico o *Hardware*, consistente en todos los dispositivos que tienen entidad física y componen el sistema informático, como el propio computador, cualquier periférico, cables...

El elemento lógico o *Software* que proporciona al *Hardware* la capacidad de realizar cualquier tipo de trabajo.

El elemento humano o *Personal Informático* que sería el conjunto de personas encargadas de poner en funcionamiento el *Hardware* y *Software* para cumplir unos determinados objetivos y resolver necesidades. (Alcalde et al. 1994, Ureña et al. 1997)

2.1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA INFORMÁTICA

Desde el punto de vista histórico, el término “informática” surge en Francia, en los años sesenta, y como su nombre indica, se ocupa de proporcionar ayuda en tareas en las que predomina el manejo de la información.

La utilización de métodos de ayuda en la realización de cálculos se remonta a más de 4000 años, cuando se empezaron a utilizar muescas en un trozo de madera o de piedra para llevar la contabilidad en el intercambio de productos. Uno de los instrumentos de cálculo más antiguos que se conoce es el ábaco, empleado por los romanos en el siglo IV a.C., aunque los chinos ya utilizaban un contador basándose en bolas hacia el siglo IX a.C.(Bretón et al. 1989, Alcalde et al. 1994)

En el siglo XVII, varios matemáticos diseñaron e incluso llegaron a construir máquinas que realizaban operaciones aritméticas elementales. W. Schickard construyó en 1624 la primera máquina capaz de realizar sumas y restas de forma automática. El matemático B. Pascal desarrolló en 1645 su máquina aritmética que realizaba las mismas funciones por procedimientos más complejos. Estas primeras calculadoras mecánicas fueron diseñadas con fines de investigación, sin la intención de que tuvieran una aplicación útil.(Bretón et al. 1989, Alcalde et al. 1994)

La primera aparición de una máquina programable de carácter práctico data de 1801, año en el que el francés Joseph- Marie Jacquard desarrolló un telar automático que funcionaba a base de largas tiras de cartón con perforaciones que indicaban los patrones a realizar.(Bretón et al. 1989, Alcalde et al. 1994)

En 1883, el británico Charles Babbage (considerado el padre de la informática moderna) diseñó una máquina a la que llamó máquina analítica, que debía permitir realizar las cuatro operaciones fundamentales sobre 1000 números de 50 cifras contenidos en una memoria, según las indicaciones de un programa de cálculo registrado en una tira de papel perforado, siguiendo una técnica parecida a la realizada por Jacquard. Aunque por razones puramente técnicas, la tecnología de la época no permitió su construcción, su diseño alcanzó gran fama debido a que Babbage estableció cuáles debían ser los elementos fundamentales de un sistema automático (posteriormente este aparato fue construido por ingenieros de este siglo y su funcionamiento es perfecto). También inventó otras máquinas como la máquina

diferencial, diseñada para solucionar problemas matemáticos complejos.(Bretón et al. 1989, Alcalde et al. 1994)

Muchos historiadores consideran a Babbage y a su colega, la matemática británica Augusta Ada Byron (1815-1852) como los verdaderos inventores de la computadora digital moderna. La tecnología de aquella época, como ya hemos señalado, no era capaz de trasladar a la práctica sus acertados conceptos, pero la máquina analítica ya tenía muchas de las características de un ordenador moderno. Incluía una corriente, un flujo de entrada en forma de paquete de tarjetas perforadas, una memoria para guardar los datos, un procesador para las operaciones matemáticas y una impresora para hacer permanente el registro.(Bretón et al. 1989, Alcalde et al. 1994)

En el primer tercio del siglo XX llegó el salto cualitativo con el desarrollo de la electrónica moderna. Con la sustitución de las ruedas dentadas y las tarjetas perforadas por interruptores eléctricos, se consiguió un dispositivo en el que la circulación de corriente representaba el (1) y la interrupción del flujo el (0). Este tipo de máquinas es considerablemente más rápido que las de tipo mecánico y también más fiable.(Bretón et al. 1989, Alcalde et al. 1994)

Fue el matemático de origen húngaro J. Von Neumann (1903-1957) quien definió las características básicas del funcionamiento de las máquinas programables que hoy conocemos como ordenadores: almacenamiento de programas en una memoria física y recorrido paso a paso, de forma secuencial, de las instrucciones almacenadas. Sobre la base de sus ideas, se empezaron a construir los primeros ordenadores digitales modernos. Diseñó la primera computadora que utilizaba un programa archivado flexible, el *MANIAC I*, Participó en el diseño del que es considerado primer ordenador, el *ENIAC*, un ordenador que se hizo para calcular la trayectoria de proyectiles. Von Neumann propuso separar el *Hardware* del *Software*, realizándose en el ordenador *EDVAC*.(Bretón et al. 1989, Alcalde et al. 1994)

2.1.2. GENERACIONES DE COMPUTADORAS

Se distinguen distintas generaciones en la historia de los ordenadores. El paso de una generación a la siguiente se produce cuando se dan avances significativos en los elementos que constituyen el soporte de la información.(Bretón et al. 1989).

La *primera generación* (1940-1952) se corresponde con el uso de válvulas de vacío y relés electromagnéticos para el almacenamiento de datos. El número de componentes por decímetro cúbico es de diez. Un predecesor inmediato de esta generación fue el ordenador digital *Mark I*, desarrollado en la universidad de Harvard por H. H. Aiken, que se basaba en interruptores mecánicos. En 1940 se construyó el *ENIAC* (*Electronic Numerical Integrator And Calculator*), primer ordenador que empleaba válvulas de vacío en vez de interruptores. A partir de ese momento se construyeron modelos perfeccionados hasta que, en 1951, apareció el *UNIVAC-I*, que es el primer ordenador comercial.

En la *segunda generación* (1952-1964) los transistores sustituyen a las válvulas de vacío y se utilizan memorias de ferritas. Cada ordenador contiene cerca de un centenar de componentes por decímetro cúbico. Aparecen los primeros ordenadores comerciales con una programación previa (sistema operativo) que interpretaban instrucciones escritas en lenguajes de programación como el *Fortran* o el *Cobol*.

En la *tercera generación* (1964-1971), se introduce el uso del circuito integrado como soporte de información, lo que permite disponer de varios miles de elementos por decímetro cúbico. Gracias a ello se reduce significativamente el tamaño y el coste de los ordenadores, al tiempo que aumenta su velocidad y sus prestaciones.

En la *cuarta generación* (1971-1981), se avanza en la escala de integración de los circuitos integrados, dando lugar al circuito microprocesador. Con esto se consigue integrar todos los circuitos básicos del ordenador en un solo circuito integrado.

La *quinta generación* (desde 1981 hasta nuestros días) contempla el avance en la escala de integración continua de forma progresiva. Los circuitos integrados *VLSI* alcanzan cifras del orden de millones de transistores que ocupan un espacio menor que la palma de una mano. En esta última generación se da mayor énfasis a la intercomunicación usuario-ordenador, en un intento de aproximar cada vez más el lenguaje del ordenador a la forma de comunicación natural de las personas y al lenguaje convencional.

La miniaturización y abaratamiento de costes también propició la aparición del ordenador personal o PC, cuya gran difusión en el mercado lo convierte en parte

imprescindible tanto de las necesidades actuales como de la realidad cotidiana.(Bretón et al. 1989, Alcalde et al. 1994)

2.2. INFORMÁTICA APLICADA A LA DOCENCIA MÉDICA

La docencia en medicina y biología, tradicionalmente ha estado basada en el uso de atlas o disecciones. Sin embargo, el empleo de atlas limita la visión a dos dimensiones, necesitando una gran capacidad de abstracción por parte del estudiante para entender las relaciones tridimensionales. Con el avance de las tecnologías, la enseñanza basada en elementos informáticos ha roto estas barreras permitiendo una docencia más dinámica, realista y atractiva.

Muchos de los programas informáticos empleados en medicina utilizan datos reales obtenidos de resonancias magnéticas y tomografías computarizadas, que permiten reconstrucciones tridimensionales de los diferentes órganos y estructuras.(El Khalili 2005)

Las ventajas y desventajas de la enseñanza asistida por ordenador frente a los métodos tradicionales han sido resaltadas por diversos autores y se exponen a continuación:

Ventajas

Pueden enseñar y evaluar habilidades en el manejo clínico de casos a largo plazo, simulando un seguimiento longitudinal.

Los contenidos de las lecciones se adaptan al nivel del estudiante.

La ausencia de otros estudiantes favorece un ambiente de trabajo más desinhibido, creativo. No existe la ansiedad de actuar y responder delante de público.

El estudiante controla el ritmo de avance de los contenidos. Se promueve un uso eficiente del tiempo, permitiendo saltar o revisar material adecuadamente.

Feedback inmediato cuando se permite a los estudiantes realizar autoevaluación.

La interactividad promueve la concentración y el aprendizaje.

El valor de lo novedoso añade motivación.

Los estudiantes se aficianan aún más al uso de herramientas informáticas.

Pueden proporcionar mejores imágenes, mejores diagramas.

Los estudiantes pueden elegir el momento del día o de la noche para aprender.

Alivia al profesor de presentar conferencias o exposiciones repetitivas.

Es un método de trabajo más objetivo que la supervisión de un ser humano como es la figura del profesor.

Inconvenientes

Las opciones de saltar contenidos formativos pueden conducir a los alumnos a obviar material importante que desconocen.

Los ordenadores sólo dan información preprogramada, pudiendo dejar cuestiones sin resolver a los estudiantes.

Los estudiantes no aprenden de las preguntas y respuestas de otros alumnos.

Los estudiantes no experimentan la presión de actuar frente a otros, lo que puede disminuir la motivación.

Los estudiantes necesitan aprender a manejar el programa de ordenador en cuestión. Estudiantes con menor habilidad en el manejo de ordenadores pueden encontrarlo incómodo.

No existe el refuerzo docente del profesor narrando anécdotas y experiencias de la vida real.

Ausencia del “factor humano”.

El desarrollo e implementación requiere dinero y tiempo, a veces en cantidades considerables.

Potencial baja calidad de imagen en pantallas de baja resolución.

La disponibilidad limitada de estaciones de trabajo puede disminuir el acceso al aprendizaje. (Park 1981, Jacoby et al. 1984, Piemme 1988, Jaffe et al. 1993, Glenn 1996, Kuszyk et al. 1997)

Desde un punto de vista técnico, la enseñanza asistida por ordenador permite dos entornos de trabajo, el aprendizaje on-line, en el que el alumno está conectado a un servidor remoto y el aprendizaje off-line, en el que el alumno trabaja en su propio ordenador.

Aprendizaje on-line

Significa literalmente en línea o conectado, es decir, estar conectado con el sitio donde están los recursos docentes electrónicos, de manera remota y por medio de internet. En inglés, se emplea con frecuencia el término Web-Based Training, es decir, aprendizaje basado en la web. Tiene como ventajas el permitir la interacción a distancia en tiempo real y la gestión de usuarios por un coordinador (por ejemplo, profesor). Sin embargo, una baja velocidad de transmisión puede limitar su utilización. (Torales 2008)

Aprendizaje off-time

Significa fuera de línea, desconectado, de manera que se recurre a material didáctico almacenado en el ordenador, o en diferentes tipos de soporte (CD-ROM, DVD, etc.), por tanto no se necesita acceso a Internet. En inglés se denomina Computer-Based Training. Presenta la ventaja de que el recurso docente reside en nuestro propio ordenador, de manera que las limitaciones de velocidad son menores; sin embargo no permite la interacción virtual.(Torales 2008)

2.3. PROGRAMAS PARA LA VISUALIZACIÓN DE DATOS BIOMÉDICOS

La informática, a nivel biomédico, puede ser empleada para la realización de modelos tridimensionales de diferentes órganos o sistemas basados en imágenes reales de seres humanos. A partir de imágenes de tomografías computarizadas o de resonancias magnéticas, empleando diferentes software, podemos generar modelos que roten y se modifiquen en tiempo real.(Sun et al. 2012) La mayoría de los programas trabajan con el formato DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine).(Bagaria et al. 2011).

Para obtener el modelo final, es necesario delimitar los bordes de las estructuras deseadas en las imágenes seccionadas para delimitar su periferia y asignarles un color. Este proceso es el conocido como segmentación. Partiendo de estas segmentaciones, se

han generado diferentes programas que permiten una reconstrucción tridimensional efectiva del órgano o tejido.(Park et al. 2007, Shin et al. 2009, Shin et al. 2011, Jang et al. 2011). Ejemplos de éstos son MIMICS, 3D Doctor o Amira.(Bagaria et al. 2011)

Todos estos programas parten de imágenes en formato DICOM, JPEG, TIFF, BMP, obtenidas a partir de tomografías computarizadas, resonancias magnéticas, ultrasonido, microscopía...tanto en color o en escala de grises, para poder segmentarlas y trabajar sobre ellas generando modelos volumétricos con innumerables empleos.(MIMIC 2013, 3D Doctor 2013, Amira 2013)

2.4. BASES EMBRIOLÓGICAS Y ANATÓMICAS EN EL ÁREA OROFACIAL

Mediante este trabajo de investigación pretendemos mostrar nuevas posibilidades de estudio de la anatomía, concretamente del macizo maxilofacial, sobre un espécimen humano de tres años de edad.

Para ello nos centraremos en el punto de vista anatómico, embriológico, así como el desarrollo y la evolución de los órganos dentarios.

2.4.1. CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LAS ARCADAS

Para poder entender cómo se constituyen las arcadas dentarias y la oclusión, se ha de comprender en primer lugar el crecimiento y desarrollo del cráneo y las estructuras faciales antes y después del nacimiento.

2.4.1.1. Desarrollo de la cara

El desarrollo del cráneo desde el punto de vista embrionario es bastante complejo y tardío en comparación con el de otras estructuras blandas como el cerebro, los ojos, nervios, vasos y músculos. Tal es este hecho, que en el primer mes, el embrión prácticamente no tiene cara y la cabeza parece en su mayor parte un cerebro simplemente cubierto por una delgada lámina de ectodermo y mesodermo de origen crestal.



Fig.1 Visión lateral de un modelo de embrión humano de 19 días aproximadamente. Se observa la disposición de los arcos branquiales, bajo los que se observa el esbozo cardíaco. Modelo perteneciente al Departamento de Anatomía y Embriología Humanas de la Universidad Complutense de Madrid

La cara se desarrolla entre la cuarta y décima semana de vida intrauterina. Durante la cuarta semana, la cavidad oral primaria (estomodeo) está definida por cinco mamelones faciales, generados por la proliferación de zonas mesenquimatosas situadas debajo del ectodermo. Estos son el proceso frontonasal (impar y medio) y los procesos maxilares y mandibulares (pares). Los procesos maxilares y mandibulares derivan del primer arco branquial. Los procesos faciales al principio, están delimitados por surcos , que a lo largo del tiempo van desapareciendo por la proliferación y migración del tejido mesenquimal.(Berkovitz et al. 2009)

En los primeros estadios de desarrollo (cuarta semana), la membrana orofaríngea separa la cavidad oral primitiva de la faringe en desarrollo. Esta membrana es bilaminar y se compone de una capa externa ectodérmica y una interna endodérmica. Pronto esta membrana desaparece dando continuidad a la porción ectodérmica de la cavidad oral y endodérmica de la faringe. (Berkovitz et al. 2009)

A las cinco semanas, en el embrión se detectan unos engrosamientos de ectodermo que darán lugar a las placodas nasales y ópticas, que formarán el epitelio olfativo y los ojos. Las placodas nasales a su vez van a adentrarse en el tejido mesenquimal subyacente formando lo que serán las cavidades nasales primitivas. La proliferación de tejido mesenquimal del proceso frontonasal alrededor de estas nuevas

cavidades produce los procesos nasales media y lateral. Además, el proceso maxilar va a aumentar y crecer hacia delante y hacia medial, (Berkovitz et al. 2009)



Fig.2 Modelo de desarrollo facial de un espécimen de 41 días de desarrollo aproximadamente. El modelo representa la formación del labio superior y de la nariz. Modelo perteneciente al Departamento de Anatomía y Embriología Humanas de la Universidad Complutense de Madrid

Hacia la sexta semana, los dos procesos mandibulares se van a fusionar en la línea media dando lugar a los tejidos que formarán la mandíbula. Los procesos maxilares y mandibulares van a estar unidos a nivel del ángulo de la boca, definiéndose así su contorno. Desde los bordes superiores de la boca, el proceso maxilar crece por debajo del proceso nasal lateral y por delante del proceso nasal medial. Entre la fusión de los procesos maxilar y nasal lateral aparecen los surcos óptico-nasales (surcos nasolacrimales). De cada surco, el descenso de células ectodérmicas va a generar la aparición de los conductos lacrimales. Todo esto queda reflejado en la figura 3. (Berkovitz et al. 2009)

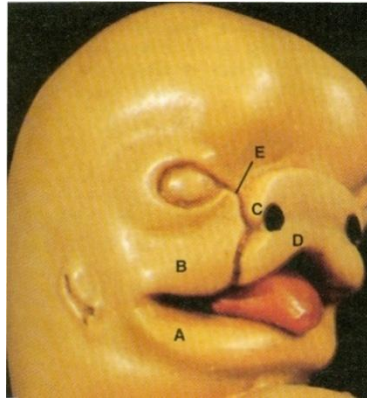


Fig.3: Modelo desarrollo facial (6 semanas intrauterino)

A: Proceso mandibular, B: Proceso maxilar, C: Proceso nasal lateral,
D: Proceso nasal medial, E: Surco óptico-nasal. Tomado de Berkovitz (Berkovitz et al. 2009)

Existen dos teorías en torno a la formación del labio superior hacia la sexta semana de gestación. La primera sugiere que el proceso maxilar crece por encima del proceso nasal medial hacia la línea media, dando lugar a los tejidos que formarán el labio superior. La otra teoría mantiene que el mesénquima del proceso maxilar desplaza el mesénquima del proceso nasal medial. La histología en relación a los procesos de inervación defienden esta última postura, pero es cierto que todavía no existen evidencias claras que descarten la posible migración maxilar hacia la línea media, sugiriéndose que el tercio medio del labio superior derivaría de margen nasal medial del proceso frontonasal.(Berkovitz et al. 2009) El labio inferior se formará por la migración de ectomesénquima del proceso mandibular.(Nanci 2008)

Durante el periodo de formación facial (aproximadamente los veinticuatro a veintiocho días de gestación), parte del epitelio que recubre el proceso facial, se va a diferenciar en odontogénico o formador de tejidos dentarios. En el borde inferior del proceso maxilar y el superior del proceso mandibular, el epitelio empieza a proliferar y a engrosarse, formándose así el epitelio odontogénico. Éste también se va a desarrollar en torno a la vertiente lateral del proceso nasal medial, viéndose hacia el día treinta y siete (cuando los procesos maxilar y nasal se fusionen), la banda epitelial primaria. Esta banda epitelial primaria es una proliferación de epitelio odontogénico con forma arqueada que va a formar el maxilar superior, distinguiéndose cuatro zonas de proliferación epitelial. Lateralmente, una zona asociada a cada proceso maxilar, y en el medio una asociada a los procesos nasales mediales. Igualmente dos zonas en el proceso mandibular formarán la banda epitelial primaria de la mandíbula.(Nanci 2008)

2.4.1.2. Desarrollo de la mandíbula

El desarrollo inicial de la mandíbula es intramembranoso pero su crecimiento y desarrollo posterior se puede definir como cartilaginoso. Es fundamental en el desarrollo mandibular el cartílago de Meckel, que deriva del primer arco faríngeo. Aparece en torno a la sexta semana de vida intrauterina y se extiende desde la cápsula ótica cartilaginosa en la región que formará la oreja, hasta la sínfisis. No va a contribuir demasiado el desarrollo de la mandíbula adulta, simplemente va a servir de estructura en torno a la cual se forme el hueso mandibular. La rama mandibular del nervio trigémino, tiene una estrecha relación con este cartílago de Meckel, recorriendo en su mayor parte la longitud del mismo, y dividiéndose en sus ramas alveolares y lingual, que recorrerán su cara lateral y medial respectivamente.(Nanci 2008, Berkovitz et al. 2009)

La mandíbula en sus fases iniciales de formación tiene un aspecto de lámina de tejido fibroso denso. En la séptima semana aparece un centro de osificación en este tejido fibroso próximo a lo que será el foramen mentoniano. Desde este centro, la formación de hueso es abundante hacia atrás, hacia delante y hacia arriba, alrededor del nervio dentario y de sus ramas terminales mentoniana e incisal. Un incremento de desarrollo óseo en dirección anterior y posterior produce una placa ósea en la cara lateral del cartílago de Meckel que corresponderá con el futuro cuerpo mandibular. Ésta se extenderá hacia la línea media para encontrarse con el hueso que se formará en el otro lado. Sin embargo, estas dos partes permanecerán separadas por tejido fibroso correspondiente a la sínfisis.(Nanci 2008, Berkovitz et al. 2009)

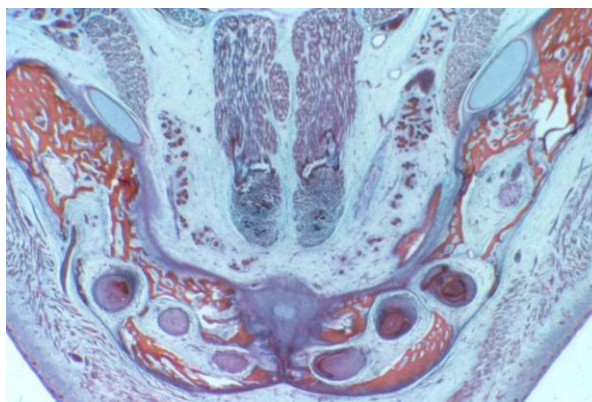


Fig.4: Corte transversal de la región mandibulosinfisaria de un espécimen humano de 12 semanas.

Tinción azocarmín. Colección del Instituto de Embriología Humana de la Universidad

Complutense de Madrid

Continuando con el crecimiento del cuerpo mandibular, se va a producir una gran proliferación de tejido óseo que supondrá un aumento del tamaño mandibular, apareciendo también el hueso alveolar alrededor de los gérmenes dentarios (figura 5). En un estadio superior, el cartílago de Meckel se reabsorbe. El paquete vasculonervioso, que en estadios primitivos se localizaba con los gérmenes dentarios, se va a albergar en su propio canal óseo con un consiguiente desarrollo marcado del proceso alveolar. (Enlow 1990, Nanci 2008, Berkovitz et al. 2009)

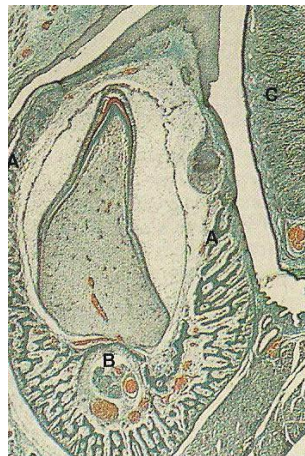


Fig.5: Sección de mandíbula en donde el cartílago de Meckel se ha reabsorbido. El paquete vasculonervioso (B) se alberga en su canal óseo y el proceso alveolar (C) presenta una gran proliferación. C: Lengua
Tomada de Berkovitz (Berkovitz et al. 2009)

Aunque el cartílago de Meckel no va a contribuir significativamente en el desarrollo final de la mandíbula, se pueden apreciar remanentes cartilaginosos en la región de la sínfisis hasta el nacimiento, y además en su porción más dorsal, el cartílago se osifica para formar los osículos auriculares y el martillo. (Nanci 2008, Berkovitz et al. 2009) Por detrás del cuerpo mandibular, el pericondrio del cartílago persiste formando los ligamentos esfenomandibular que alcanza el martillo del oído medio y que se ha denominado ligamento maleolomandibular (Rodríguez Vázquez et al. 1992, 1993)

Durante el periodo de campana de formación de los gérmenes, irá proliferando hueso alrededor, generándose así los alveolos. Su tamaño se irá modificando en función del crecimiento del germen dentario. En este alveolo se producirán fenómenos de aposición y reabsorción ósea, reabsorción en su interior y aposición en su parte externa. Posteriormente entre los dientes se formará el septo interdental. Igualmente con la

aparición de las raíces dentarias, proliferará entre ellas hueso interradicular.(Enlow 1990, Nanci 2008, Berkovitz et al. 2009)

La rama mandibular en origen es una condensación de tejido fibroso que, pese a que va a tener continuidad con el cuerpo, se va a localizar lateralmente al cartílago de Meckel. Un gran desarrollo de esta rama se debe a la osificación en dirección posterior del cuerpo, que ya mencionamos, y también por la aparición de cartílagos secundarios. Entre la décima y decimo cuarta semana de vida intrauterina, se van a desarrollar tres cartílagos secundarios en relación a la mandíbula en crecimiento. El mayor y más importante es el cartílago condilar. Esta masa cartilaginosa se va a convertir progresivamente en hueso mediante un proceso de osificación endocondral; así en torno a la semana veinte de gestación, sólo se apreciará una fina capa de cartílago en la cabeza del cóndilo. Ésta permanecerá activa hasta la segunda década de vida, siendo un mecanismo importante de crecimiento mandibular.(Enlow 1990, Nanci 2008, Berkovitz et al. 2009, Mérida Velasco et al. 2009)

Los otros dos cartílagos, menos importantes, se localizan en las regiones coronoidea y sinfisaria. Con todo esto se aprecia que la aparición en el feto de la articulación ocurre aproximadamente hacia la semana catorce de gestación.(Rodríguez Vázquez et al. 1997, Nanci 2008, Berkovitz et al. 2009)

La articulación temporomandibular se formará a partir de una capa mesenquimatosa entre el cóndilo en formación y el hueso temporal, cuyo desarrollo será intramembranoso. Mérida y cols, tras el estudio de setenta especímenes humanos describen la evolución en el desarrollo de la articulación. En la semana séptima, se va a observar una condensación de tejido mesenquimal en lo que sería el esbozo condilar, que se va a asociar con nervios maseterino y auriculotemporal, éste último transcurrirá entre el futuro cóndilo y el cartílago de Meckel. En torno a la octava semana, se produce una osificación intramembranosa en la rama, que corresponde con la base del futuro cóndilo. Craneolateralmente a ella se generará el esbozo del disco articular a partir de tejido mesenquimatoso. En este estadio, todavía no existe cavidades articulares, pero si se van esbozando estructuras musculares como el pterigoideo lateral y el ligamento discomaleolar.(Mérida et al. 1999)

En torno a la novena semana comienza la osificación en el centro del blastema condilar. Igualmente se aprecian unos hendiduras entre el esbozo del disco articular y el

cóndilo mandibular, que suponen la formación inicial de la fosa mandibular inferior, que se completará en torno a la décima semana, sin apreciarse evidencias de la superior. En esta décima semana, el cartílago condilar va adquiriendo una forma cónica y próximo al vértice de su base se encuentra lo que será el foramen mandibular. Hace la semana once, comienza la organización de la fosa mandibular superior. La cápsula articular se sitúa entre el proceso cigomático de la porción escamosa del temporal y el cóndilo y se une al disco articular. (Mérida et al. 1999)

Entre la semana doce y diecisiete, se completa la formación de la totalidad articular. En la semana doce no existen cambios significativos en las superficies articulares y las fosas están perfectamente definidas. En la semana trece, la superficie articular de la porción escamosa del temporal adquiere una morfología cóncava y se observa la inserción del disco articular la superficie externa del cóndilo, así como la invaginación del mesénquima vascular y la aparición de la fisura timpanoescamosa. Igualmente se aprecian proyecciones fibrosas que corresponderán a los músculos masetero y temporal en la porción anterior del temporal. En la región retrocapsular se aprecia el nervio auriculotemporal, así como la rama originada de la arteria timpánica anterior y el plexo venoso retrodiscal. A partir de la semana catorce el cartílago de Meckel sufre una reducción en su volumen. Durante la semana diecisiete existe una clara osificación endocondral en la porción anterior del cóndilo, asociada a la inserción del músculo pterigoideo lateral y el ligamento discomaleolar adquiere un aspecto fibroso. (Rodríguez Vázquez et al. 1998, Mérida et al. 1999)

El ratio cuerpo- rama es mayor en el nacimiento que en el adulto, indicando un incremento proporcional de la rama con el paso del tiempo. En el momento de nacer, la barbilla no está bien delimitada, y ambas hemimandíbulas se unen a nivel de la sínfisis, que se osificará en torno a los dos años de vida, generándose así un único hueso. El mentón se va haciendo progresivamente más prominente, sobretudo en la pubertad en varones. Además, el ángulo mandibular va disminuyendo desde el nacimiento hasta la edad adulta. (Nanci 2008, Berkovitz et al. 2009) Estas variaciones quedan claramente reflejadas en la figura 6.

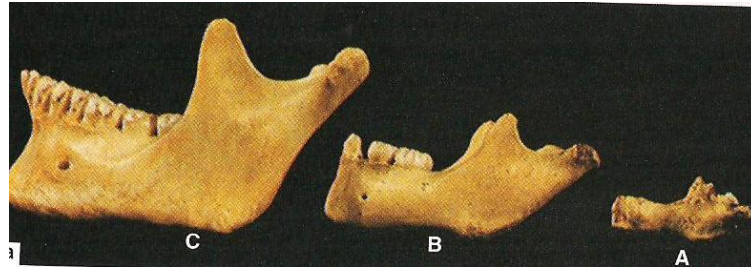


Fig.6: Evolución mandibular del niño (A) al adulto (C)

Tomada de Berkovitz (Berkovitz et al. 2009)

El crecimiento mandibular ocurre merced a un proceso de remodelación ósea. El incremento en altura del cuerpo mandibular ocurre primeramente por la formación del hueso alveolar, aunque también hay depósito óseo a nivel del borde inferior. El incremento en la longitud se produce por la proliferación ósea a nivel posterior de la rama, con su consiguiente reabsorción en su borde anterior, acompañado del depósito de hueso en la superficie posterior de la apófisis coronoides y la reabsorción en la vertiente anterior del cóndilo. El crecimiento en anchura se produce por la deposición ósea en las vertientes externas y la reabsorción en las internas.(Enlow 1990, Nanci 2008, Berkovitz et al. 2009)

Existe cierta controversia sobre el papel del cartílago condilar en el crecimiento mandibular. Una teoría mantiene la continua proliferación de este cartílago como responsable del crecimiento en altura y longitud de la rama. Otra teoría, en cambio afirma que la proliferación del cartílago es una respuesta al crecimiento pero no su causa. Por último algunos estudios han comprobado que el crecimiento mandibular se mantendría si seccionásemos el cóndilo.(Nanci 2008, Berkovitz et al. 2009)

2.4.1.3. Desarrollo del maxilar

Como ocurre con la mandíbula, el maxilar se desarrolla a través de un crecimiento intramembranoso. El centro de osificación aparece en torno a la octava semana de vida intrauterina, muy próximo al lugar de desarrollo del canino temporal. Sin embargo, a diferencia de la mandíbula, su crecimiento y desarrollo no está asociado a cartílagos secundarios. Además, por su localización en el esqueleto cráneo facial, su crecimiento está muy influenciado por el desarrollo de las cavidades orbitaria, nasal y oral.(Nanci 2008, Berkovitz et al. 2009)

Desde la región canina, el proceso de osificación se extiende a través de los procesos palatino, cigomático, frontal y alveolar.

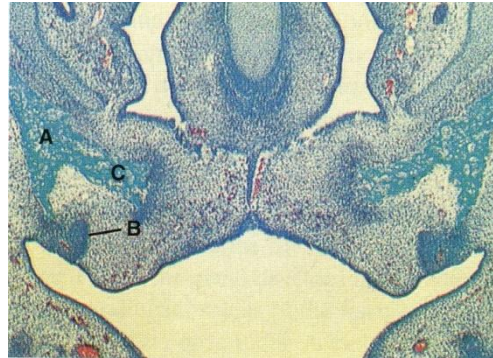


Fig.7: Desarrollo temprano del maxilar (A) donde se aprecia la región de desarrollo del canino temporal (B), desde donde se extiende el proceso de osificación, hacia la región palatina, por ejemplo (C) .Tomada de Berkovitz (Berkovitz et al. 2009)

Inicialmente, se pensó que la región incisal del maxilar, que se desarrolla a partir del proceso frontonasal, presentaba un centro de osificación diferente. Por eso recibía el nombre de premaxila. Sin embargo, se ha comprobado que la osificación se extiende desde el cuerpo maxilar hasta la región incisal.

El crecimiento maxilar se produce merced a un fenómeno de remodelación ósea y por crecimiento sutural. Entre los agentes que ejercen las fuerzas para separar el maxilar de los huesos adyacentes (lo que permite el crecimiento a través de las suturas), están los globos oculares, el cartílago nasal y el cuerpo adiposo de la órbita.

Se piensa que el septo nasal en crecimiento empuja el proceso maxilar hacia delante a través de un ligamento septopremaxilar que se localiza en el borde anterior del septo nasal en una posición posteroinferior de la espina nasal anterior y de la sutura intermaxilar.

Como ocurre con la mandíbula, el crecimiento en altura del maxilar se relaciona con el desarrollo del proceso alveolar. Es complicado determinar si el desarrollo alveolar adulto es el resultado de una deposición ósea o del desplazamiento del cuerpo maxilar. Estudios basados en el uso de implantes metálicos han sugerido que ambos procesos contribuyen de forma similar. Así, también, el crecimiento en altura de la

cavidad nasal se asocia con una reabsorción de la porción superior del proceso palatino y una deposición en la vertiente inferior.(Berkovitz et al. 2009)

El seno maxilar aparece como una protrusión en la mucosa del meato medio de la nariz al principio de la cuarta semana de vida intrauterina. Después del nacimiento el seno maxilar aumenta de tamaño con el crecimiento maxilar y se sigue desarrollando durante la erupción de la dentición permanente.(Nanci 2008, Berkovitz et al. 2009)

2.4.2. ANATOMÍA DEL MACIZO MAXILOFACIAL

El esqueleto de la cara está situado inferiormente a la mitad anterior del cráneo. Se divide en dos partes principales: el maxilar y la mandíbula. El proceso maxilar está formado por trece huesos, entre los cuales uno sólo es medio e impar, el *vómer*. Los otros son pares laterales y están colocados simétricamente a ambos lados de la línea media. Estos huesos son: *los maxilares, los lagrimales, los palatinos, las conchas nasales inferiores, los huesos nasales y los cigomáticos*. La mandíbula está formada por un solo hueso.(Rouvière y Delmas 2001)

2.4.2.1. La mandíbula

La mandíbula está situada en la parte inferior de la cara. Se distinguen en ella tres partes, el *cuerpo*, y dos partes laterales, las *ramas*, que se alzan en los extremos posteriores del cuerpo.

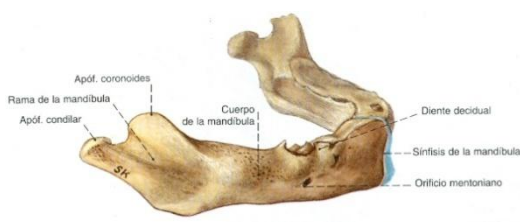


Fig.8: Visión lateral de una mandíbula de recién nacido. Tomada de Sobotta (Sobota 1993)

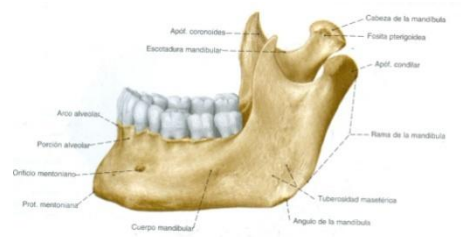


Fig.9: Visión lateral de una mandíbula de un adulto. Tomada de Sobotta (Sobota 2003)

CUERPO

El cuerpo está incurvado en forma de herradura. Presenta una cara anterior convexa, una cara posterior cóncava, un borde superior o alveolar y un borde inferior libre.

Cara anterior: Se observa en la línea media una cresta vertical, la *sínfisis mandibular*, que es la huella de la unión de las dos piezas laterales que integran la mandíbula. La sínfisis mandibular termina inferiormente en un vértice triangular de base inferior, la *protuberancia mentoniana*. De ésta nace a cada lado una cresta, llamada *línea oblicua*, que se dirige posterior y superiormente y tiene continuidad con el labio lateral del borde anterior de la rama mandibular. Superior a la línea oblicua se encuentra el *agujero o foramen mentoniano*. Este agujero se sitúa a la misma distancia de los dos bordes de la mandíbula y en una vertical que pasa entre los dos premolares, o por uno u otro de estos dos dientes. Da paso a los vasos y nervios mentonianos. (Rouvière y Delmas 2001)

Cara posterior: Se aprecian en la parte media y cerca del borde inferior cuatro pequeños salientes superpuestos, dos a la derecha y dos a la izquierda, que son las *espinas mentonianas (apófisis geni) superiores e inferiores*. Las espinas superiores sirven de inserción a los músculos genioglosos, las inferiores a los genihioideos. Comúnmente, las espinas mentonianas inferiores, y a veces las cuatro apófisis, se fusionan en una sola. (Rouvière y Delmas 2001)

De las espinas mentonianas nace a cada lado una *línea milohioidea*. La línea milohioidea se dirige superior y posteriormente y termina en la rama mandibular formando el labio medial de su borde anterior; sirve de inserción al músculo milohioideo. Inferior a ella se halla un estrecho surco llamado *surco milohioideo* por el que pasan los vasos y nervios del mismo nombre. (Rouvière y Delmas 2001)

La línea milohioidea divide la cara posterior del cuerpo de la mandíbula en dos partes. Una superior, excavada, más alta anterior que posteriormente, se llama *fosita sublingual* y aloja la glándula sublingual. La otra, inferior, es más alta posterior que anteriormente y está en gran parte ocupada por una depresión, la *fosita submandibular*, que ocupa la glándula submandibular.

Bordes: *Superior o alveolar:* Está excavado por cavidades, los alveolos, destinadas a alojar las raíces de los dientes. *Inferior:* Es grueso, obtuso y liso. Presenta, un poco por fuera de la línea media, una superficie ovalada y ligeramente deprimida, la *fosa digástrica*, en la que se inserta el vientre anterior del músculo digástrico. (Rouvière y Delmas 2001)

RAMAS DE LA MANDÍBULA

Las ramas de la mandíbula son rectangulares, alargadas de superior a inferior y presentan dos caras, una lateral y otra medial, y cuatro bordes.

Cara lateral: Se aprecian en su parte inferior las crestas rugosas, oblicuas inferior y posteriormente, en las cuales se insertan las láminas tendinosas del masetero.

Cara medial: Existen también en la parte inferior de la cara medial crestas rugosas, oblicuas inferior y posteriormente, marcadas por la inserción del músculo pterigoideo medial. En la parte media de esta cara se encuentra el orificio de entrada del *conducto o canal mandibular*, en el cual penetran los vasos y nervios alveolares inferiores. El orificio, llamado *foramen mandibular* está situado en la prolongación del reborde alveolar y coincide con el punto medio de una línea trazada desde el trago al ángulo anteroinferior del masetero. Está limitado anteriormente por un saliente triangular agudo, la *línula mandibular o espina de Spix*, sobre la cual se inserta el ligamento esfenomandibular. Posterior al agujero mandibular, existe a veces otro saliente más pequeño que el anterior, la *antilínula*. En el agujero mandibular comienza el surco milohioideo ya descrito. (Rouvière y Delmas 2001)

Bordes: El *borde anterior* está comprendido entre dos crestas o labios, uno medial y otro lateral. El labio medial limita inferiormente con el labio lateral un canal que aumenta de profundidad y anchura de superior a inferior. Su extremidad inferior se continúa más o menos directamente con la línea milohioidea del cuerpo de la mandíbula. Superiormente, el labio medial asciende sobre la cara medial de la rama mandibular y del proceso coronoideo formando un relieve, la *cresta temporal*.

En el canal que limitan inferiormente los dos labios del borde anterior se observa una cresta oblicua dirigida inferior y lateralmente, la *cresta buccinatoria*, que sirve de origen del músculo buccinador.

Los dos labios del borde anterior sirven de inserción a los fascículos tendinosos del músculo temporal.

El *borde posterior* es grueso y romo y describe una curva en forma de “S” muy alargada.

El *borde inferior* tiene continuidad con el borde inferior del cuerpo de la mandíbula. Forma posteriormente, cuando se une con el borde posterior de la rama mandibular, el *ángulo de la mandíbula o gonion*. Está frecuentemente cruzado en su parte anterior por una depresión transversal debida al paso de la arteria facial.

El *borde superior* presenta dos salientes, uno posterior, la *cabeza de la mandíbula (cóndilo)* y otro anterior, el *proceso coronoides*, separados entre sí por la *incisura mandibular*.

El *proceso condilar* es una eminencia oblonga cuyo eje mayor se dirige de lateral a medial y un poco de anterior a posterior. Sobresale más sobre la cara medial que sobre la cara lateral de la rama mandibular. Se aprecia en él una cara superior en forma de ángulo diedro, cuyas vertientes anterior y posterior se articulan con el temporal. La vertiente posterior tiene continuidad inferiormente con una superficie triangular cuyo vértice inferior se confunde con la extremidad superior del borde posterior de la rama mandibular.

La cabeza presenta además en la mayor parte de los casos, por debajo de su extremo lateral, una pequeña rugosidad determinada por la inserción del ligamento lateral de la articulación temporomandibular. La cabeza está adherida a la rama mandibular por una parte estrecha, el *cuello de la mandíbula*, que presenta medial y anteriormente una fosita rugosa en la cual se inserta el músculo pterigoideo lateral (fóvea pterigoidea). Sobre la cara medial del cuello de la mandíbula se aprecia un saliente, el *pilar medial de la cabeza*, formado por el labio medial de la fosita de inserción del pterigoideo lateral y que se prolonga inferior y anteriormente hasta las proximidades de la língula mandibular.

El *proceso coronoides* es triangular. Su cara lateral es lisa. Su cara medial presenta la cresta temporal ya descrita. Su borde anterior tiene continuidad con el labio lateral del borde anterior de la rama mandibular. Su borde posterior, cóncavo posteriormente, limita anteriormente la escotadura mandibular. Su base se continúa con el hueso. Su vértice superior es romo. El proceso coronoides sirve de inserción al músculo temporal.

La *incisura mandibular*, ancha, profunda y cóncava superiormente, establece comunicación entre las regiones maseterina y cigomática y da paso a los vasos y nervio maseterinos.

En el feto y en el niño pequeño, la mandíbula está recorrida por otro conducto llamado *conducto de Serres*, subyacente al conducto mandibular. El conducto de Serres contiene únicamente vasos. Desde el nacimiento tiende a obliterarse y desaparecer muy pronto. Sin embargo, se encuentra a veces en el adulto su orificio posterior colocado inferior y posteriormente al agujero mandibular y su orificio anterior situado anterior al del agujero mentoniano. (Rouvière y Delmas 2001)

2.4.2.2. El maxilar

El maxilar es un hueso par y lateral colocado simétricamente a ambos lados de la línea media de la cara. Es superior a la cavidad bucal, inferior a la cavidad orbitaria y lateral a las cavidades nasales. Participa en la formación de las paredes de estas tres cavidades y se articula con el lado opuesto. Es voluminoso y sin embargo ligero, debido a la existencia de una cavidad, el *seno maxilar*, que ocupa los dos tercios del espesor del hueso. La configuración externa del maxilar es muy irregular. No obstante, se puede reconocer en él una forma cuadrilátera y distinguírle dos caras, un lateral y otra medial, y cuatro bordes. (Rouvière y Delmas 2001)

CARA LATERAL

La cara lateral presenta, a lo largo de su borde inferior, salientes verticales que corresponden a las raíces de los dientes. El saliente determinado por la raíz del canino, la *eminencia canina*, está muy bien marcado. Anteriormente a la eminencia canina se encuentra una depresión llamada *fosa canina*. En la parte inferior de esta fosa, se inserta el *músculo canino*.

Proceso cigomático (Piramidal): Superior a los salientes determinados por las raíces de los dientes, la cara lateral del maxilar sobresale lateralmente en forma de *apófisis piramidal* triangular y truncada, que presenta por consiguiente tres caras, tres bordes y un vértice.

Cara superior u orbitaria: Es lisa y triangular y constituye la mayor parte del suelo de la órbita. Está ligeramente inclinada, de tal forma que se halla orientada superior, anterior y lateralmente.

De la parte media del borde posterior parte un surco, el *surco infraorbitario*, que se dirige anterior, inferior y un poco medialmente y tiene continuidad con el *conducto infraorbitario*. Por este surco y conducto discurren el nervio y los vasos infraorbitarios.

La pared superior del conducto infraorbitario cobra grosor de posterior a anterior. De la pared inferior del conducto y 5,5 mm. posterior al agujero infraorbitario se desprende un canalículo estrecho, el *conducto alveolar superior anterior*. Este conducto se dirige inferiormente en el espesor de la pared ósea y permite el paso a los vasos y el nervio alveolares superiores anteriores, destinados al canino y a los incisivos del mismo lado.

Cara anterior: Está en relación con las partes blandas de la mejilla. Presenta el agujero infraorbitario, en el que termina por delante el conducto infraorbitario. Este orificio está situado a 5 o 6 mm. por debajo del reborde inferior de la órbita, en la unión de su tercio medial y de su tercio medio, a 3 cm. Aproximadamente de la línea media y, en consecuencia, en la vertical que desciende desde la escotadura supraorbitaria.

Por debajo del agujero infraorbitario, la cara anterior de la apófisis cigomática está excavada. Esta depresión es la *fosa canina*.

Cara posterior o cigomática: Forma la pared anterior de la fosa infratemporal y de su trasfondo. Es convexa en su parte medial y cóncava transversal y lateralmente y cerca del hueso cigomático. La parte medial se llama *tuberosidad del maxilar*. Se ven en su parte media los orificios de los *conductos alveolares superiores posteriores* en número de dos o tres, en los que se introducen los vasos y nervios alveolares superiores posteriores.

La cara posterior de la tuberosidad está cruzada superiormente, cerca de su borde superior por un canal transversal cuya profundidad aumenta de medial a lateral hasta llegar a la extremidad posterior del conducto infraorbitario. Este canal corresponde al nervio maxilar.

Borde anterior: De los tres bordes, el borde anterior de la apófisis cigomática separa la cara orbitaria de la cara anterior. Forma aproximadamente el tercio medial del reborde inferior de la órbita.

Borde posterior: Separa la cara superior de la cara posterior. Constituye el borde inferior de la fisura orbitaria inferior. Su extremidad lateral describe un saliente en forma de gancho: *la espina cigomática*, cuya concavidad posterior limita anteriormente esta fisura.

Borde inferior: Cóncavo, grueso y romo, separa la cara anterior de la cara cigomática.

Base: Ocupa en altura aproximadamente los tres cuartos superiores de la cara lateral del maxilar.

Vértice: Es truncado y triangular, y se articula con el hueso cigomático. Su ángulo anterior, muy alargado, se extiende medialmente hasta el nivel del foramen infraorbitario. (Rouvière y Delmas 2001)

CARA MEDIAL

Esta cara está dividida en dos partes muy desiguales por una ancha apófisis horizontal, la *apófisis palatina*. Ésta nace de la superficie medial del maxilar en la unión de su cuarto inferior con sus tres cuartos superiores. Inferior a la apófisis, la superficie medial pertenece a la pared bucal; superiormente, a la pared lateral de las fosas nasales.

Proceso palatino: Es una lámina ósea triangular, aplanada de superior a inferior. Se articula en la línea media con la del lado opuesto y contribuye a formar el tabique que separa las fosas nasales de la cavidad oral.

Tiene dos caras y tres bordes.

Cara superior: Lisa y cóncava transversalmente, pertenece al suelo de las fosas nasales.

Cara inferior: Forma parte de la bóveda palatina. Es rugosa y está perforada por numerosos agujeros vasculares, y está cruzada cerca de su borde lateral por un canal

oblicuo anteromedialmente, por el que pasan la arteria y las venas palatinas mayores, así como el nervio palatino mayor.

Borde lateral: Curvilíneo, se une a la cara medial del hueso.

Borde posterior: Transversal y tallado en bisel a expensas de la cara superior, se articula con la lámina horizontal del palatino.

Borde medial: Mucho más grueso anterior que posteriormente, está estriado verticalmente por dentellones que se engranan con los de la apófisis del lado opuesto. Presenta una prominencia superiormente en forma de arista, la *arista nasal*, que recorre este borde, en la cara superior de la apófisis. Cuando las dos apófisis palatinas se articulan entre sí, las dos aristas se unen y forman la *cresta nasal*, que sobresale en la línea media del suelo de las cavidades nasales. En el tercio anterior de la apófisis, la cresta nasal se alza bruscamente y constituye una laminilla alta llamada *cresta incisiva*. La cresta incisiva se extiende hasta el borde anterior del hueso, donde se proyecta anteriormente formando un saliente triangular agudo, la *espina nasal anterior*.

En la cara inferior, la articulación de las dos apófisis palatinas se manifiesta por una sutura media, la *sutura palatina media*. En la extremidad anterior de esta sutura se encuentra al *foramen incisivo*, que tiene una longitud de 1 cm. Y una anchura de mm. Da acceso al *conducto incisivo*, dando paso a los nervios y vasos nasopalatinos.

Porción bucal de la cara medial: Es inferior a la apófisis palatina. Consiste en una superficie estrecha y rugosa comprendida entre la apófisis y el borde alveolar.

Porción nasal de la cara medial: Esta parte del maxilar presenta un ancho orificio, el *hiato maxilar* que da acceso al *seno maxilar*. Del ángulo inferior de este orificio parte una fisura oblicua inferior y un poco posteriormente, en la cual penetra la apófisis maxilar del palatino, denominada *fisura palatina*.

Superior al orificio del seno, la cara medial presenta dos una o dos depresiones, generalmente poco profundas. Estas depresiones completan las cavidades correspondientes del etmoides, transformadas así en celdillas etmoidomaxilares.

Anterior al hiato maxilar descendiendo el *surco lagrimal*. Los dos labios de este surco están muy marcados. El labio anterior sigue al borde posterior de la apófisis frontal del maxilar. De la extremidad inferior de este labio parte una cresta oblicua

anterior e inferiormente, la *cresta conchal*, que se articula con la parte anterior de la concha nasal inferior.

El labio posterior del surco lagrimal está integrado por la parte más alta del borde anterior del hiato maxilar. A este nivel, el borde anterior del seno se incurva medial y anteriormente por medio de una laminilla ósea delgada denominada *concha lagrimal*.

Los dos labios del surco lagrimal se articulan con los bordes de otro surco excavado en la cara lateral del lagrimal. Así se forma la mayor parte del *conducto nasolagrimal*.

Posterior al orificio del seno, la superficie ósea se divide en dos zonas rugosas, una anterosuperior y otra posteroinferior, por medio de un canal oblicuo inferior y anteriormente. El palatino se articula con estas dos zonas rugosas y cubre el canal, que se transforma así en el *conducto palatino mayor*.(Rouvière y Delmas 2001)

BORDES

Los bordes del maxilar se dividen en superior, inferior, anterior y posterior.

Borde superior: De anterior a posterior es delgado e irregular. Se articula de anterior a posterior con el lagrimal y con la lámina orbitaria del etmoides. Presenta frente al lagrimal una escotadura cóncava medialmente que se articula con el gancho lagrimal del lagrimal y forma con él el borde lateral del orificio de entrada del conducto nasolagrimal.

De la extremidad anterior del borde superior del maxilar se alza la *apófisis frontal*.

Apófisis frontal (Ascendente): Es una lámina ósea cuadrilátera, aplanada transversalmente. La cara lateral está dividida por una cresta vertical llamada *cresta lagrimal anterior* en dos partes: una anterior y una posterior. La parte anterior es más o menos lisa; la posterior, está ocupada por un canal que contribuye a formar el surco del saco lagrimal.

La cara medial de la apófisis forma parte de la pared lateral de las cavidades nasales. Se aprecian en esta cara, superoposteriormente, rugosidades articulares entre las

cuales está a veces horadada una hemiceldilla. Rugosidades y hemiceldillas corresponden a la cara anterior del laberinto etmoidal. La cara medial de la apófisis presenta además en su parte media una cresta oblicua anteroinferiormente llamada *cresta etmoidal*, que se articula con la concha nasal media.

De los cuatro bordes de la apófisis frontal, el anterior se articula con los huesos nasales; el posterior, delgado, cortante y casi vertical, se une al borde anterior del lagrimal y se continúa inferiormente con el labio anterior del surco lagrimal, excavado en la superficie medial del maxilar; el superior, estrecho y dentado, corresponde a la parte lateral del borde nasal del frontal.

Borde inferior o alveolar: Es cóncavo medial y posteriormente. Forma con el del lado opuesto una arcada de concavidad posterior, excavada por cavidades llamadas alveolos, donde se implantan las raíces de los dientes.

Borde anterior: Este borde está escotado en su parte media y esta *escotadura nasal* limita con la del maxilar opuesto el orificio anterior de las cavidades nasales óseas.

Borde posterior: El borde posterior, ancho y grueso, corresponde a la tuberosidad del maxilar. Es casi vertical. Se observan en sus extremidades dos superficies rugosas. La superior y triangular, llamada *trígono palatino*, se articula con la apófisis orbitaria del palatino. La inferior coincide con la apófisis piramidal de este hueso. Entre las dos superficies articulares, el borde posterior del maxilar contribuye a limitar anteriormente el trasfondo de la fosa infratemporal.(Rouvière y Delmas 2001)

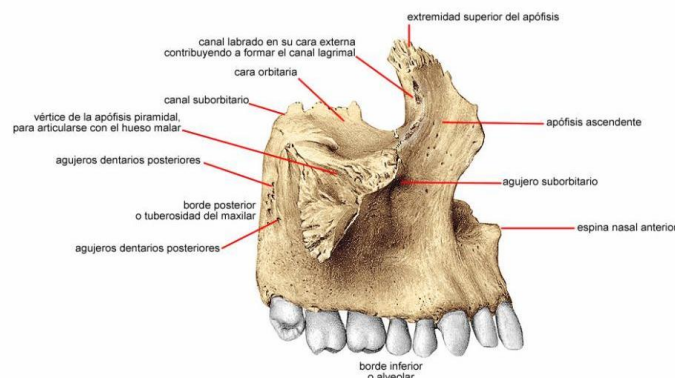


Fig.10: Cara externa del maxilar superior. Tomada de Sobotta (Sobota 2003)

2.5. ANATOMÍA DE LA DENTICIÓN TEMPORAL

2.5.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

La dentición temporal consta de 20 dientes en total, 10 en cada arcada y se clasifican de la siguiente forma: cuatro incisivos, dos caninos y cuatro molares. En comparación con sus homólogos permanentes, los dientes temporales son más pequeños, en cuanto al tamaño general y a las dimensiones de la corona. (Ash 2010)

2.5.2. DIFERENCIAS ESENCIALES ENTRE LA DENTICIÓN TEMPORAL Y LA PERMANENTE

En comparación con sus los dientes permanentes, se pueden apreciar las siguientes diferencias específicas:

1. Las coronas de los dientes temporales anteriores son más anchas mesiodistalmente si las comparamos con las de los permanentes.
2. Las raíces de los dientes temporales anteriores son más estrechas y más largas comparativamente.
3. Las raíces de los primeros molares son más cortas y más acampanadas, y se extienden por fuera de la proyección de la corona. La forma acampanada consigue más espacio para el desarrollo de las coronas permanentes.
4. Las crestas de esmalte cervical de los dientes anteriores son más prominentes.
5. Las coronas y raíces de los molares temporales en su porción cervical son más delgadas mesiodistalmente.
6. Las crestas cervicales vestibulares de los primeros molares son más pronunciadas.
7. La superficie vestibular y lingual de los molares temporales sobre la curvatura cervical está más aplanada que en los molares permanentes, resultando la cara oclusal más estrecha.
8. Los dientes temporales suelen estar menos pigmentados y tienen un aspecto más blanquecino que los permanentes. (Ash 2010)

2.5.3. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE CADA DIENTE TEMPORAL

A continuación realizamos una descripción detallada de cada pieza dentaria temporal, ya que éstas son el eje principal del presente trabajo de investigación.

2.5.3.1. Incisivo central maxilar

Su cara vestibular es muy lisa, con un borde incisal casi recto. Su longitud mesiodistal es mayor que la inciscervical. En su corona, normalmente no se aprecian las líneas de desarrollo. Su raíz es cónica con los lados aplanados y su longitud comparada con la corona es mayor que en el incisivo central permanente.

En la cara lingual se aprecia una cresta marginal bien desarrollada, lo mismo que el cingulo que se extiende hacia el borde incisal. La raíz en esta vertiente no es tan aplanada como en la cara vestibular.

A nivel mesiodistal, se comprueba que la corona es ancha en relación a su longitud total. La raíz en una visión mesiodistal parece más aplanada que desde una visión vestibular o lingual, pero mantiene el aspecto cónico. Normalmente en la cara mesial de esta raíz aparece un surco de desarrollo o concavidad, mientras que distalmente, la superficie es convexa.

A nivel incisal encontramos un borde relativamente recto, bajo el cual, la superficie vestibular es más extensa y aplanada que la lingual, que se estrecha hacia el cingulo. (Ash 2010)

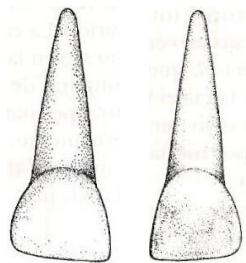


Fig.11: Cara vestibular y palatina del incisivo central maxilar derecho .

Tomada de Ash (Ash 2010)

2.5.3.2. Incisivo lateral maxilar

Generalmente es semejante al incisivo central en todas sus superficies, pero sus dimensiones son diferentes. La corona es más pequeña en todas sus caras. La longitud cervicoincisal es mayor que la anchura mesiodistal. Los ángulos distoincisales son más redondeados que los del incisivo central. Aunque su raíz tiene una forma semejante, es mucho más larga en relación a la corona que en el incisivo central. (Ash 2010)

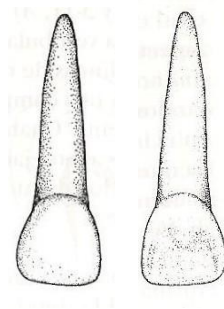


Fig.12: Cara vestibular y palatina del incisivo lateral maxilar derecho .

Tomada de Ash (Ash 2010)

2.5.3.3. Canino maxilar

La corona del canino está más constreñida en el cuello en relación a su anchura mesiodistal, y las superficies mesial y distal son más convexas. En lugar de un borde incisal, tiene una cúspide grande, bien desarrollada y aguda, más grande comparada con la del permanente.

La cara lingual muestra unas crestas de esmalte pronunciadas que se fusionan entre sí. Son el cingulo, las crestas marginales mesial y distal, y los bordes de la cúspide incisal a los lados del tubérculo situado en la punta de la cúspide, que es una continuación de la cresta lingual que conecta el cingulo con la punta de la cúspide. Esta cresta divide la cara lingual en dos suaves fosas, una mesial y otra distal. La raíz en esta cara se inclina ligeramente hacia distal a partir del tercio medio.

Las caras mesial y distal son similares, salvo que la curvatura de la línea cervical hacia la cúspide es menor en la cara distal que en la mesial.

En una visión incisal vemos que la corona tiene forma de diamante, con la punta de la cúspide situada más a distal, resultando una vertiente mesial más larga. Con ello se consigue la intercuspidación con el canino mandibular, que tiene la vertiente distal más larga. (Ash 2010)

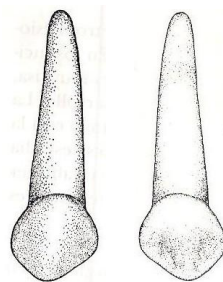


Fig.13: Cara vestibular y palatina del canino maxilar derecho .

Tomada de Ash (Ash 2010)

2.5.3.4. Primer molar maxilar

A nivel vestibular, la distancia mayor está entre las zonas de contacto mesial y distal. A partir de estos puntos, la corona converge hacia el cuello, donde el diámetro es 2 mm menor al de las zonas de contacto. Este cara es lisa, con los surcos de desarrollo apenas visibles. Desde esta visión se puede comprobar que es más pequeño que el segundo molar temporal. Sus raíces son delgadas y largas, y están muy separadas, apreciándose desde vestibular tres. La distal es visiblemente más corta que la mesial.

El contorno general de la cara lingual es semejante al de la cara vestibular. La corona converge ostensiblemente hacia lingual, y el diámetro mesiodistal a este nivel es menor que en la cara vestibular. La cúspide mesiolingual es la más prominente, la más grande y la más aguda, mientras que la distolingual está mal definida, y cuando existe es pequeña y redondeada. Igualmente la cúspide mesiolingual es mayor que la mesiovestibular. No es infrecuente encontrar un primer molar maxilar de tres cúspides en el que aparece una gran cúspide lingual sin surco de desarrollo visible.

Visto desde la cara mesial, el diámetro del tercio cervical es mayor que el del tercio oclusal. Las raíces mesiovestibular y lingual solamente son visibles cuando se mira la cara mesial desde una situación opuesta al área de contacto.

Desde la cara distal la corona se estrecha marcadamente hacia distal y se pueden apreciar bien las tres raíces, pero la distuvestibular queda superpuesta sobre la mesiovestibular, de la cual solamente se ve la cara vestibular y el ápice.

En la cara oclusal la distancia entre la línea angular mesiovestibular y la línea angular distoestibular es mayor que la distancia que existe entre la línea angular mesiolingual y la línea angular distolingual. Así mismo, la distancia entre la línea angular mesiovestibular y la mesionlingual es mayor que la existente entre las líneas angulares distales. Igualmente encontramos una fosa central y una fosa triangular mesial. El surco vestibular de desarrollo divide oclusalmente la cúspide mesiovestibular y la cúspide distoestibular. En ocasiones también encontramos la cresta oblicua que conecta la cúspide mesiolingual con la distoestibular. (Ash 2010)

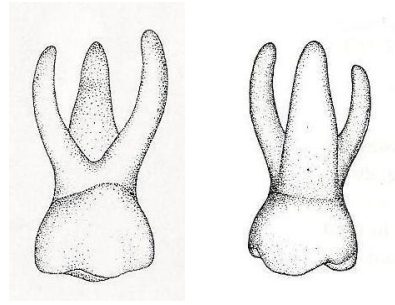


Fig.14: Cara vestibular y palatina del primer molar maxilar derecho .Tomada de Ash (Ash 2010)

2.5.3.5. Segundo molar maxilar

En su cara vestibular se aprecian dos cúspides bien definidas, con un surco de desarrollo vestibular entre ellas. La corona es mucho mayor que la del primer molar maxilar temporal. Desde esta cara las raíces parecen delgadas, pero son mucho más largas que las del primer molar.

En la vertiente lingual se ven tres cúspides, una mesiolingual grande y bien desarrollada; la distolingual, también bien desarrollada; y una tercera cúspide, apical a la cúspide mesiolingual conocida como tubérculo de Carabelli que está poco desarrollada y actúa sólo como refuerzo. Desde esta cara lingual son visibles todas las raíces; la lingual es grande y gruesa si se compara con las otras dos.

Desde la cara mesial, la corona tiene el contorno típico de un molar y se parece mucho a la de los molares permanentes. La corona parece corta debido a su anchura vestibulolingual, en comparación con la altura. Observada desde esta perspectiva, la raíz mesiovestibular tiene un aspecto ancho y aplanado y se extiende lingualmente más allá del contorno de la corona.

A nivel distal el diámetro de la corona es claramente menor que el mesial. Las cúspides distovestibular y distolingual tienen aproximadamente la misma longitud. Desde esta proyección se pueden ver las tres raíces, aunque la mesiovestibular queda oculta por la raíz distovestibular y solamente se aprecia una parte de su contorno. La raíz distovestibular es más corta y más estrecha que las otras.

Desde la cara oclusal, este diente se parece al primer molar permanente. Es ligeramente romboidal y tiene cuatro cúspides bien desarrollada y una suplementaria o tubérculo de Carabelli. Presenta una fosa central con una fóvea central y una fosa

triangular mesial bien definida. Igualmente encontramos una cresta oblicua que conecta la cúspide mesiolingual con la distovestibular. Distal a ella se encuentra la fosa triangular distal. (Ash 2010)

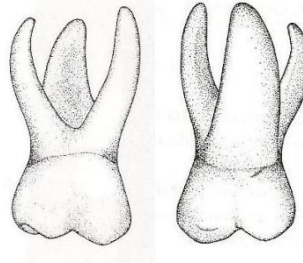


Fig.15: Cara vestibular y palatina del segundo molar maxilar derecho .Tomada de Ash (Ash 2010)

2.5.3.6. Incisivo central mandibular

La cara vestibular de la corona es plana y no se aprecian las líneas de desarrollo. Los lados mesial y distal se van estrechando progresivamente desde los puntos de contacto y su dimensión es menor en el cuello. Su raíz es delgada y uniformemente cónica hacia el ápice, siendo casi dos veces más larga que la corona.

En la cara lingual la cresta marginal y el cóngulo son de fácil localización. En el tercio medio y el tercio incisal podemos apreciar un aspecto plano o bien una ligera concavidad denominada fosa lingual. Las caras linguales de la corona y la raíz convergen, de forma que es más estrecha por lingual que por vestibular.

A nivel mesiodistal, se la corona presenta el contorno típico de un incisivo, aunque las medidas son más pequeñas. A menudo se observa una depresión de desarrollo en el lado distal de la raíz, mientras que la mesial es casi plana y se estrecha uniformemente.

A nivel incisal encontramos un borde recto. El perfil de este borde incisal destacan las crestas del contorno del tercio cervical por vestibular y lingual. En el lado lingual se observa un manifiesto estrechamiento hacia el cóngulo.(Ash 2010)

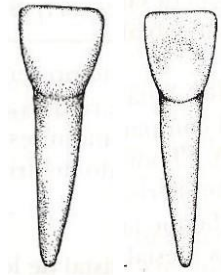


Fig.16: Cara vestibular y palatina del incisivo central mandibular derecho.

Tomada de Ash (Ash 2010)

2.5.3.7. Incisivo lateral mandibular

Los perfiles fundamentales son similares a los del incisivo central. Tiene unas dimensiones algo mayores, excepto a nivel vestibulolingual, donde son casi iguales los dos dientes. El cingulo puede ser igualmente algo más voluminoso y la cara lingual más cóncava. Además el borde incisal tiende a inclinarse hacia distal, lo que produce un descenso hacia apical del punto de contacto (Ash 2010)

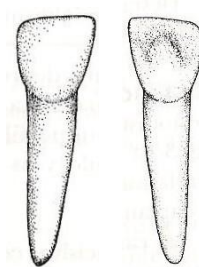


Fig.17: Cara vestibular y palatina del incisivo lateral mandibular derecho .

Tomada de Ash (Ash 2010)

2.5.3.8. Canino mandibular

Poca diferencia funcional existe entre este diente y el respectivo maxilar, la principal es de dimensión. La corona y la raíz son más cortas, pero el cuello del diente es más grueso. Igualmente a nivel vestibulolingual es más grueso.

La vertiente distal es más larga que la mesial, a diferencia del canino maxilar que ocurre al contrario. (Ash 2010)

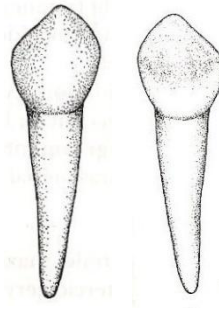


Fig.18: Cara vestibular y palatina del canino mandibular derecho .

Tomada de Ash (Ash 2010)

2.5.3.9. Primer molar mandibular

El perfil vestibular de la corona, desde la zona de contacto hasta el cuello, es casi recto, con la corona constreñida muy ligeramente en el cuello. La parte distal de la corona es más corta que la mesial, con la línea cervical descendiendo hacia apical hasta llegar a la zona mesial. Las dos cúspides vestibulares son bastante marcadas, aunque sin evidencia de surco de desarrollo entre ellas. La cúspide mesial es mayor que la distal. Desde esta perspectiva, las raíces son largas y delgadas, y se ensanchan considerablemente en el tercio apical, más allá de la proyección de la corona. La perspectiva vestibular de este diente confirma el aspecto extraño sugiriéndose, que anteriormente, este diente estaba constituido por dos dientes, los cuáles se fusionaron produciéndose esta combinación.

En la porción lingual, la corona y la raíz convergen marcadamente hacia lingual, por la parte mesial, ocurriendo lo contrario por la parte distal. La cúspide distolingual es redondeada y se adivina un surco de desarrollo entre esta cúspide y la mesiolingual. La cúspide mesiolingual es prominente, en mayor medida que las otras cúspides y está casi en el centro de la cara lingual, aunque alineada con la raíz mesial. La cresta marginal mesial está tan bien desarrollada que se podría considerar como otra pequeña cúspide lingual. Desde esta cara también puede verse parte de las dos cúspides vestibulares.

Desde la cara mesial lo más destacable es la pronunciada curvatura hacia bucal del tercio cervical. Excepto por este detalle, el contorno de la corona de este diente se parece a la cara mesial del segundo molar temporal y a las de los molares mandibulares permanentes. Las cúspides bucales están situadas encima de la base de la raíz y el perfil lingual de la corona se extiende lingualmente más allá del contorno de la raíz. Desde esta cara, podemos ver la cúspide mesiovestibular, la mesiolingual y una cresta

marginal mesial bien desarrollada. Desde esta vista, la raíz mesial no se parece a ninguna otra raíz temporal. El contorno vestibular y lingual desciende desde la corona, casi en línea recta y paralelamente en más de la mitad de su longitud, estrechándose ligeramente al llegar al tercio apical. El extremo de la raíz es plano, casi cuadrado. Normalmente existe una depresión de desarrollo que se extiende por toda la longitud de la raíz, por su cara mesial.

La cara distal se diferencia de la cara mesial en varios aspectos. La línea cervical no desciende vestibularmente, siendo casi recta, la longitud lingual y vestibular de la corona es más uniforme. Además, las cúspides distovestibular y distolingual no son tan grandes ni tan agudas como las dos cúspides mesiales. La cresta marginal distal no es tan recta ni está tan bien definida como la mesial. La raíz distal es más redonda y más corta y se adelgaza más apicalmente.

En una visión oclusal, encontramos un contorno general romboidal, destacando su prominencia mesiovestibular. La cúspide mesiovestibular es la más grande y la mejor desarrollada de todas las cúspides. El surco de desarrollo vestibular de la cara oclusal divide proporcionalmente las dos cúspides vestibulares. El surco central de desarrollo se une con él y se extiende mesialmente separando la cúspide mesiovestibular de la cúspide mesiodistal. El surco central termina en una fosita mesial situada en la fosa triangular mesial. La cúspide mesiovestibular presenta en la superficie oclusal una cresta triangular bien definida, que acaba en el centro de la cara oclusal en el surco de desarrollo central. El surco de desarrollo lingual se extiende lingualmente desde este punto, separando la cúspide mesiolingual de la cúspide distolingual. (Ash 2010)

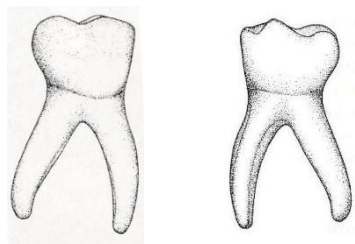


Fig.19: Cara vestibular y palatina del primer molar mandibular derecho .

Tomada de Ash (Ash 2010)

2.5.3.10. Segundo molar mandibular

Este diente tiene unas características muy similares al primer molar mandibular permanente, aunque sus dimensiones son diferentes .

En la cara vestibular, mesiodistalmente es más estrecho en la parte cervical que en las zonas de contactos. Visto desde vestibular, los surcos de desarrollo mesiovestibular y distovestibular dividen a esta cara en tres porciones cuspídeas, de aproximadamente el mismo tamaño. Esta disposición determina una superficie vestibular recta con una cúspide mesiovestibular, otra vestibular y otra distovestibular.

Desde una visión lingual se observan dos cúspides de dimensiones casi idénticas y entre ellas un surco lingual corto. Las dos cúspides linguales no tienen la misma anchura que las tres cúspides vestibulares; esta disposición hace que la corona se estreche lingualmente. La parte mesial de la corona vista por la cara lingual parece ligeramente más alta que la distal. Da la impresión de que está inclinada distalmente. Desde este plano, pueden verse parcialmente las tres cúspides vestibulares.

La cara mesial se parece al primer molar permanente mandibular. La cresta del contorno vestibular es más prominente en el molar temporal. Este molar está más constreñido oclusalmente debido a que la superficie vestibular es aplanada por encima del borde cervical. La corona sobresale de la raíz, igual que ocurre en todos los dientes mandibulares posteriores. La cresta marginal de este molar es alta, lo que ocasiona que la cúspide mesiovestibular y la mesiolingual parezcan más cortas. La cúspide lingual es más alta que la vestibular. La raíz mesial es extraordinariamente ancha y plana, con el ápice romo.

Desde una visión distal, la corona es más ancha mesial que distalmente, por ello es posible ver las cúspides mesiovestibular y distobucal. La cresta marginal distal desciende de forma más pronunciada y es más corta vestibulolingualmente que la cresta marginal mesial. La raíz distal es casi tan ancha como la mesial, y está aplanada en la cara distal. La raíz distal se estrecha más en el extremo apical, en comparación con la mesial.

La cara oclusal es ligeramente rectangular. Las tres cúspides vestibulares son de tamaño parecido y las linguales también lo son; sin embargo la anchura total del las

linguales es inferior a la de las vestibulares. La fosa triangular distal no está tan bien definida como la mesial. El contorno de la corona converge distalmente. (Ash 2010)

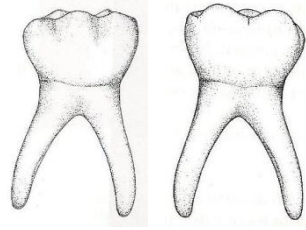


Fig.20: Cara vestibular y palatina del segundo molar mandibular derecho .

Tomada de Ash (Ash 2010)

2.6. DESARROLLO Y ERUPCIÓN DENTARIA

Como se mencionó anteriormente, en torno a los 37 días de gestación, se produce un engrosamiento de tejido epitelial en los procesos alveolares. Esta banda, con forma de herradura va a ser el emplazamiento de los futuros dientes maxilares y mandibulares. La formación de este engrosamiento es el resultado de un incremento de la actividad proliferativa en el tejido epitelial y un cambio en la orientación de los husos mitóticos y el plano escisional de las células en división.(Figura 21) Estas bandas, denominadas bandas epiteliales primarias, rápidamente se dividen en dos: la lámina dentaria, que se forma primero; y la lámina vestibular, que se forma un poco después y por delante de la anterior. Un punto clave en el inicio de la formación dentaria es la aparición de engrosamientos o placodas dentro de estas bandas epiteliales primarias.(Nanci 2008)

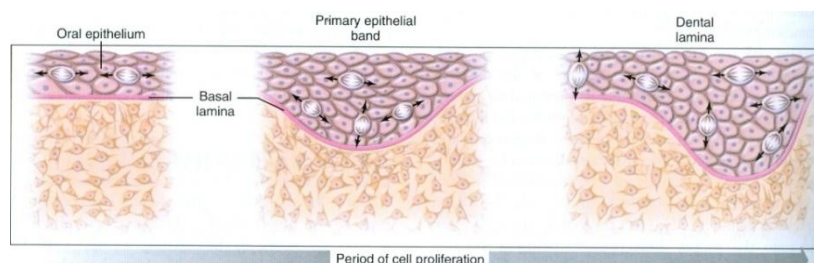


Fig.21: Representación esquemática del cambio de orientación de los husos y el plano escisional durante la formación de las bandas epiteliales y la lámina dentaria. Tomada de Nanci (Nanci 2008)

De una forma resumida, el origen de los diferentes tejidos dentarios está tanto en el mesodermo y la cresta neural (que darán lugar a la papila dentaria y por tanto a los odontoblastos, cementoblastos y fibroblastos), como del ectodermo (que llevará a la formación de los ameloblastos y el órgano del esmalte. (Thesleff et al. 1990, Nanci 2008)

2.6.1. LÁMINA DENTARIA

En la superficie anterior de la lámina dentaria, se va a generar una actividad proliferativa localizada y continuada dando lugar a la formación de excrecencias en el ectomesénquima en las localizaciones de los futuros dientes deciduos. En este momento, la actividad mitótica, de marcaje y el crecimiento de las células epiteliales es menor al de las células de ectomesénquima subyacente, haciendo que estas células ectomesenquimales se acumulen alrededor de las excrecencias mencionadas.

Una vez llegado a este punto el desarrollo y maduración dentarios se va a producir en tres estadios fundamentales: *brote*, *casquete* y *campana*. Estos términos hacen referencia a la morfología que van adquiriendo los gérmenes dentarios, pero no a los cambios histológicos y funcionales que van ocurriendo, y que serán de gran importancia. También es importante tener en cuenta, que el proceso evolutivo es un hecho continuo, siendo difícil en ocasiones marcar una verdadera transición entre los estadios. (Kitamura 1998, Nanci 2008)

2.6.2 LÁMINA VESTIBULAR

Si realizamos un corte coronal de la cabeza en formación (figura 22) en un embrión de unas seis semanas de gestación, no apreciaríamos imagen alguna de vestíbulo entre la mejilla y el área destinada a la formación dentaria. El vestíbulo se forma a expensas de la proliferación de la lámina vestibular en el ectomesénquima en un periodo inmediatamente posterior a la formación de la lámina dentaria. (Nanci 2008) Esta lámina se desarrolla bucalmente a la lámina dentaria, circunscribiéndola y dividiendo los márgenes externos del estomodeo en segmentos bucales que forman las mejillas y los segmentos labiales; y en segmentos linguales, en los cuales se desarrollan los dientes y el hueso alveolar. Un surco, el vestíbulo bucal, se desarrolla entre el segmento bucal y lingual como consecuencia de la desintegración de las células centrales. El resto del epitelio formará la mucosa de los labios, mejillas y encías. Este

surco puede verse interrumpido por segmentos de lámina vestibular, dando lugar a frenillos. Estos procesos ocurren doblemente en la boca primitiva en lo que más tarde será el maxilar y la mandíbula.(Schulze 1973, Kitamura 1998, Bashkar 2000, Nanci 2008).

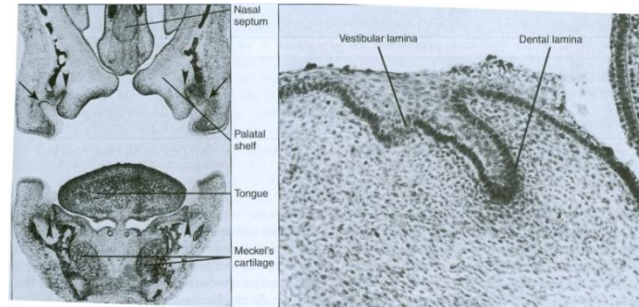


Fig.22: Corte coronal de una cabeza de un feto humano. A: La posición de la lámina dentaria y vestibular, se marca con una punta de flecha y una flecha respectivamente. B: Las dos láminas a mayor aumento. Tomada de Nanci (Nanci 2008)

2.6.3. ESTADIOS DE DESARROLLO Y MADURACIÓN DENTARIA

2.6.3.1. Estadio de brote

Este periodo se caracteriza por la primera incursión epitelial en ectomesénquima. Las células epiteliales apenas van a mostrar cambios en la forma o en la función ya que no ha comenzado aun la histodiferenciación. Las células ectomesenquimales adyacentes comienzan a agruparse alrededor del brote epitelial.(Nanci 2008)

Los brotes o gérmenes dentarios van a corresponder en número con los dientes temporales (diez en el maxilar y diez en la mandíbula). Se desarrollarán a partir de la octava semana de vida intrauterina, presentándose como proliferaciones locales de la lámina dental. Alrededor de estas proliferaciones se aprecia una condensación de células mesenquimatosas adyacentes, constituyendo la futura papila dental.(Kitamura 1998, Nanci 2008)

A nivel posterior, la lámina dental continúa proliferando en el tejido conjuntivo del maxilar y la mandíbula, constituyendo la lámina sucesiva o definitiva, que dará lugar a los brotes de los dientes permanentes sin predecesores deciduos (primer, segundo y tercer molares permanentes). Mientras, los gérmenes dentales de los dientes permanentes con predecesores temporales (incisivos, caninos y premolares), se originan

en la parte lingual de la lámina dental. Cualquier alteración a este nivel puede originar la presencia de dientes supernumerarios o agenesias. (Kitamura 1998, Nanci 2008)

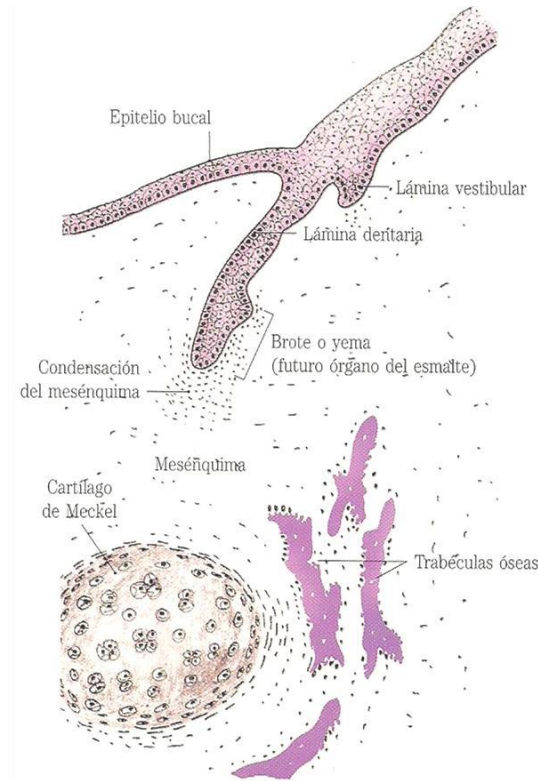


Fig.23: Esquema de la formación del brote dentario, donde se observa la lámina dentaria y la lámina vestibular Tomada de Gómez de Ferraris (Gómez de Ferraris 2002)

2.6.3.2. Estadio de casquete

Alrededor de la décima semana de vida intrauterina, mientras el brote epitelial continúa proliferando en el ectomesénquima, hay un incremento de densidad celular en las zonas adyacentes, lo que se conoce como condensación de ectomesénquima. (Kitamura 1998, Nanci 2008)

En esta fase pueden comenzar a identificarse los elementos formativos del diente. Se va a observar un sobrecrecimiento epitelial, con un cierto parecido con un sombrero o casquete, que se situará sobre el ectomesénquima condensado, denominado órgano del esmalte que dará lugar al esmalte dentario y cuyo centro se denomina retículo estrellado. El conjunto de células ectomesenquimatosas condensadas, denominado papila dental, formará la dentina y la pulpa. A su vez, el ectomesénquima

condensado que limita la papila y encapsula el órgano del esmalte, y que se denominará folículo dental o saco, será el origen de los tejidos de soporte del diente.

El órgano del esmalte posee cuatro capas no diferenciadas (Figuras 24 y 25):

1. *Epitelio dental externo*: Es la capa externa constituída por células cuboidales bajas en contacto con el folículo en desarrollo y revisten la convexidad del casquete.
2. *Retículo estrellado*: Es la porción central y sus células son polimórficas y están incluidas en una matriz fluida rica en albúmina, que le confiere una consistencia elástica que más tarde protegerá a los ameloblastos.
3. *Epitelio dental interno*: Es la capa más interna que rodea a la papila dental. Este epitelio se transformará en ameloblastos encargados de secretar el esmalte.
4. *Estrato intermedio*: Recubre una parte de la superficie del retículo estrellado. Está compuesto por una condensación celular escamosa del epitelio dental interno que ayuda a los ameloblastos a formar el esmalte.

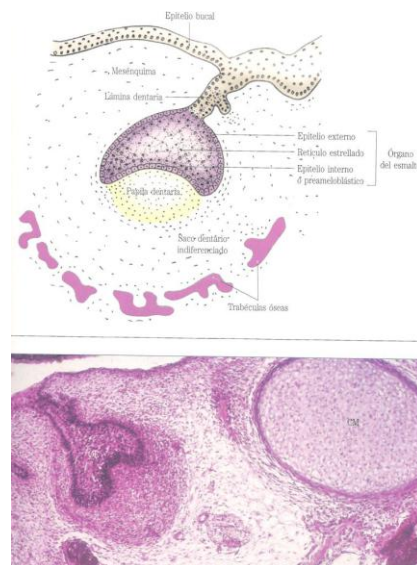


Fig.24: Etapa de casquete inicial (esquema y visión al MO)

Tomada de Gómez de Ferraris.(Gómez de Ferraris 2002)

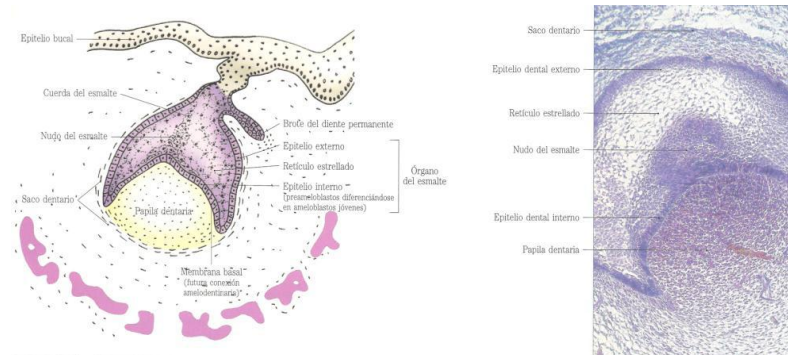


Fig.25: Etapa de casquete terminal (esquema y visión al MO)

Tomada de Gómez de Ferraris.(Gómez de Ferraris 2002)

El órgano del esmalte, la papila dental y el folículo constituyen el órgano dental o germen dentario. Durante el desarrollo tendrán lugar importantes cambios que comenzarán de forma tardía en el periodo de casquete y continuarán en la transición de casquete a campana. Durante estos cambios se produce la histodiferenciación, una diferenciación celular, tanto morfológica como histológica.(Mjör y Pindborj 1973, Lumsden 1988, Kitamura 1998, Nanci 2008)

En esta fase aparecen los nudos de esmalte, racimos o *clusters* de células epiteliales no diferenciadas. Cada diente va a presentar un nudo del esmalte en la fase de casquete. Al desaparecer, se forman nudos de esmalte secundarios en la zona correspondiente a la punta de las cúspides en los molares. Se cree que estas estructuras representan un centro de organización que orquesta la morfogénesis cuspidea.(Nanci 2008)

2.6.3.3. Estadio de campana

Durante, este periodo, que tiene lugar en torno a los tres meses de desarrollo intrauterino, la corona dental va a adquirir su forma final, proceso conocido como morfodiferenciación, y las células encargadas de la síntesis del esmalte y la dentina (ameloblastos y odontoblastos) se van a histodiferenciar.(Nanci 2008)

Las cuatro capas del órgano del esmalte se encuentran diferenciadas y empieza a observarse que a la altura del futuro cuello del diente, los epitelios dentales externos e internos se unen y forman el asa cervical, de la cual derivará la raíz dentaria (Figura 26).

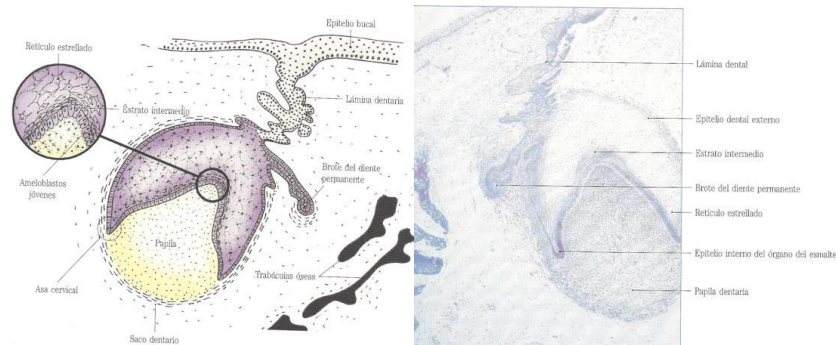


Fig.26: Estadio de campana (esquema y visión al MO)

Tomada de Gómez de Ferraris.(Gómez de Ferraris 2002)

En cuanto al retículo estrellado (parte central del órgano del esmalte), sus células inicialmente polimórficas van adoptando un aspecto estrellado. Se debe al depósito extracelular de una sustancia mucoide rica en mucopolisacáridos hidrofílicos que aleja las células unas de otras, manteniendo su unión por los desmosomas. De esta forma se aumenta el espacio en el órgano del esmalte, lo que permite el desarrollo de la corona. (Kitamura 1998, Nanci 2008)

En el estrato intermedio, sus células polimórficas se disponen en varias capas. Estas células observadas con microscopía electrónica muestran gran similitud con células estrelladas, lo cual ha llevado a pensar que las células del estrato intermedio proporcionan células al retículo estrellado. Ambas capas constituyen una verdadera unidad funcional para la formación del esmalte.(Schulze 1973, Mjor 1973, Kitamura 1998,)

El epitelio interno, en su porción más cercana al retículo estrellado, se compone de células columnares bajas, pre- ameloblastos, que al diferenciarse a ameloblastos, cambian su forma, alargándose, y cesando su actividad mitótica.(Thesleff 1990, Thesleff 1991, Nanci 2008)

Las células del ectomesénquima de la papila dental próximas al epitelio dental interno, pre- odontoblastos, se van a diferenciar a odontoblastos que se encargarán de la

formación de la dentina. La diferenciación de odontoblastos se inicia con la diferenciación previa de los pre- ameloblastos del epitelio dental interno.(Ranly 1988)

Durante el estadio de campana tienen lugar otros dos eventos de gran importancia. En primer lugar la lámina dental se rompe en cierto número de islas de células epiteliales, separándose el diente en desarrollo del epitelio oral. En segundo lugar, el epitelio dental interno completa su plegamiento, haciendo posible distinguir la forma de la futura corona del diente.

El cese de la actividad mitótica en las células del epitelio dental interno determinará la forma del diente. Cuando el germen dental crece durante la transición de fase de casquete a campana, la división celular se da en todo el epitelio dental interno. Al continuar el desarrollo, la división se detiene en una zona concreta ya que las células están comenzando a diferenciarse y asumir su función productora de esmalte. El punto inicial en el que la célula del epitelio dental interno comienza a diferenciarse representa la zona donde se desarrollará la cúspide y será el centro de crecimiento.

La diferenciación celular del epitelio dental interno y de la papila es seguida por el depósito de esmalte y dentina. La aparición de una segunda zona de diferenciación celular en el epitelio dental interno lleva a la formación de una segunda cúspide, una tercera zona a una tercera cúspide y así hasta que el patrón cuspídeo final del diente queda definido.(Kitamura 1998, Nanci 2008)

2.6.3.4. Formación de los tejidos duros

El siguiente paso en el desarrollo del diente es la diferenciación de ameloblastos y odontoblastos y la formación de los tejidos duros del diente, el esmalte y la dentina, proceso conocido como histodiferenciación. Tras el estadio de campana, hasta que la corona del diente alcanza su tamaño completo, serán únicamente las células del margen cervical del esmalte las que se dividan. En las zonas que corresponderán a las futuras cúspides, en donde aparecerá por primera vez una capa de dentina, la actividad mitótica va a cesar, y las células columnares del epitelio interno del esmalte se van a elongar y cambiar de polaridad, quedando sus núcleos enfrentados a la papila dental.

Al tiempo que ocurren cambios celulares en el epitelio interno del órgano del esmalte, se van a producir alteraciones también en las células de la papila. Las células ectomesenquimales indiferenciadas aumentan significativamente su tamaño y se van a

diferenciar a odontoblastos. Este aumento en el tamaño celular implica la desaparición del espacio acelular entre la papila y el epitelio interno del órgano del esmalte. Además se ha comprobado, que la diferenciación odontoblástica se va a producir por la influencia de las células del epitelio interno ya mencionadas. En ausencia de estas células parece imposible la formación de dentina.(Kitamura 1998, Nanci 2008)

Según avanza el desarrollo, las células del epitelio interno se van diferenciando progresivamente en la zona cusplídea, mientras que en la papila se va a producir una diferenciación odontoblástica. Los odontoblastos, una vez diferenciados, comenzarán a elaborar matriz orgánica dentinaria que poco a poco irá mineralizándose. Una vez depositada está matriz dentinaria, los odontoblastos van a migrar al centro de la papila, dejando en su recorrido extensiones de citoplasma, alrededor de las cuales se formará dentina, adquiriéndose, así, el aspecto tubular de la misma.(Nanci 2008)

Una vez formada la primera capa de dentina, los ameloblastos generados en el epitelio interno del órgano del esmalte comenzarán a secretar proteínas del esmalte formando una matriz orgánica que estará en íntimo contacto con la matriz dentinaria. Esta matriz se mineraliza inmediatamente, convirtiéndose en la capa inicial de esmalte. Aunque la secreción de proteínas en el esmalte ocurre antes de que la matriz de dentina sea visible, éstas no van a adquirir una forma de capa hasta que la dentina se haya formado. Igualmente, los ameloblastos se van a ir progresivamente alejando de la dentina formada, incrementando así el espesor del esmalte. Se ha comprobado que para que ocurra la diferenciación odontoblástica, éstos deben recibir señales de los ameloblastos formados en el epitelio interno del órgano del esmalte y viceversa, fenómeno conocido como inducción recíproca.(Thesleff 1991, Kitamura 1998, Nanci 2008)

En incisivos y caninos se aprecia un único centro de calcificación, apareciendo en el centro del borde incisal. A partir de éste, se calcificará toda la corona. En molares y premolares el epitelio interno da lugar al patrón inicial de corona y los centros de calcificación van a coincidir con las cúspides. Según progresa la calcificación, se produce la coalescencia de los diferentes centros.(Kitamura 1998, Nanci 2008)

La formación del esmalte se circunscribe únicamente a la fase preeruptiva de la odontogénesis, finalizando cuando los ameloblastos depositan sobre la corona una delgada membrana orgánica denominada cutícula primitiva, del esmalte o de Nasmyth,

dando lugar al epitelio dental reducido, que va a proteger al diente durante el proceso eruptivo. (Mjör y Fejerskov 1989)

2.6.3.5. Formación de la raíz

La raíz dentaria está constituida por dentina cubierta de cemento. Al igual que ocurría en la formación coronal, se hace necesaria la presencia de células epiteliales para iniciar la diferenciación de los odontoblastos. Así, las células del epitelio interno y externo del esmalte van a proliferar desde el lazo cervical del órgano del esmalte para formar una doble capa celular conocida como vaina epitelial de Hetwig, que se va a extender alrededor de la pulpa, dejando libre la zona basal que dará lugar al foramen apical.

En los dientes unirradiculares, las células epiteliales internas de la vaina radicular van poco a poco rodeando y encapsulando a la pulpa y diferenciándose en odontoblastos a partir de las células ectomesenquimales de la periferia pulpar. En dientes multirradiculares el proceso es similar, apreciándose dos o tres lenguas de epitelio en torno al tejido pulpar. Sobre la dentina mineralizada se depositará una delgada capa de hueso especializado o cemento. (Mjör y Pindborg 1973, Nanci 2008)

La vaina radicular que iría desde el lazo cervical hasta el foramen apical se puede apreciar solamente en estadios iniciales de formación radicular, ya que una vez formada comienza la formación de la raíz. En el adulto puede persistir como restos epiteliales de Malassez dentro del ligamento periodontal y ocasionar quistes radiculares. (Kitamura 1998, Nanci 2008)

2.6.4. DETERMINACIÓN DEL PATRÓN DENTARIO

La determinación del tipo de diente y su localización en las arcadas dentarias es lo que hoy se conoce como dental patterning o patrón dental. Actualmente se cree que la formación y localización específica de cada diente se debe a una concentración de factores de señalización como son factores de crecimiento (EGF, BMP o FGF), ácido retinoico y Sonic hedgehog (Shh), que hacen que las células expuestas a ellos respondan mediante la expresión de factores de transcripción, que llevarán a la activación y diferenciación de los diferentes tipos celulares.

Estos fenómenos se inician presumiblemente en estadios muy tempranos. Se cree que la morfogénesis de los incisivos depende de un mecanismo asociado a la formación de la línea media facial, mientras que el resto de dientes se regularían por mecanismos diferentes.

Los nudos del esmalte, ya mencionados, actuarían como focos de crecimiento y de secreción de factores de señalización que servirían como estimulantes para el crecimiento del epitelio dental interno alrededor del nudo del esmalte. Estos factores de señalización permiten la expresión de factores de transcripción, que servirán como selectores para las diferentes cascadas de diferenciación, que conducirán a la morfogénesis y diferenciación tisular.(Weiss et al. 1998)

Se ha comprobado (principalmente en modelos murinos) la interacción de diversos genes en el proceso inicial de formación dentaria. Entre las principales familias de genes implicadas encontramos:

Familia *Dlx* (1, 2, 3, 5, 6 y 7): Estarían relacionados en la regionalización de los maxilares para los diferentes tipos dentarios. Igualmente participarían en la iniciación de la formación dentaria, así como en la morfogénesis e histogénesis de los dientes (sobre todo en molares).

Familia *Pax* (2 y 6) y *Shh*.: Se encargarían de la señalización y el patrón de los incisivos maxilares, que se regularían por separado del los otros dientes.

Familia *Msx* (1 y 2) y *Lef 1*: Tendrían un papel importante en el crecimiento de la lámina dental y en la inducción del mesénquima en incisivos.

Barx-1: Implicado en la diferenciación del ectomesénquima en molares.(Weiss et al 1998, Thomas y Sharrpe 1998, Thomas et al. 1998, Nanci 2008)

2.6.5. EL FENÓMENO ERUPTIVO

Inmediatamente después al inicio de la formación radicular, el diente comienza a erupcionar hasta que finalmente adquiere su posición en la cavidad oral con su superficie oclusal en el plano oclusal correspondiente.

La corona debe romper la cripta ósea y atravesar la línea mucosa de la cavidad oral. Al comenzar los fenómenos eruptivos, el esmalte coronal está aun cubierto de una capa de ameloblastos y remanentes de las capas del órgano del esmalte. Así, dichos ameloblastos y las células adyacentes formarán lo denominado como epitelio reducido del esmalte. Poco a poco el hueso que cubre el diente en erupción va reabsorbiéndose y la corona va a atravesar el tejido conectivo de la mucosa. El epitelio reducido y el epitelio oral van a fundirse y formar una masa de células epiteliales que cubrirán la corona. Las células centrales en esta masa se van a ir degenerando, formando un canal epitelial a través del cual el diente erupciona.(Nanci 2008)

Moyers describe tres fases en la erupción:

La fase preeruptiva: Corresponde a la etapa en la que completada la calcificación de la corona, se inicia la formación de la raíz y tiene lugar la migración intraalveolar hacia la superficie de la cavidad oral. Incluso en esta fase, el germen dentario realiza pequeños movimientos de inclinación y giro, en relación con el crecimiento de los maxilares.

La fase eruptiva prefuncional: Etapa en la que el diente está presente ya en boca sin establecer contacto con el antagonista. Cuando el diente perfora la encía, su raíz presenta aproximadamente entre la mitad y los dos tercios de su longitud final. La emergencia de la corona en la cavidad oral recibe el nombre de erupción activa. Simultáneamente ocurre un desplazamiento de la inserción epitelial en dirección apical que recibe el nombre de erupción pasiva.

La fase eruptiva funcional: El diente ya establece su oclusión con el antagonista y los movimientos que ocurren van a durar toda la vida, tratando de compensar el desgaste o abrasión dentaria.(Moyers 1992)

2.6.6. ERUPCIÓN DE LA DENTICIÓN TEMPORAL

Los dientes temporales comienzan a hacer su aparición en boca a los seis meses de edad y su secuencia eruptiva es la siguiente: incisivo central inferior, incisivo central superior, incisivo lateral superior, incisivo lateral inferior, primer molar inferior, primer molar superior, canino inferior, canino superior, segundo molar inferior y segundo molar superior. Se puede comprobar que, en general, los dientes de la arcada inferior

preceden a los de la superior, aunque los incisivos laterales superiores suelen preceder a los inferiores.(Logan y Kronfeld 1933)

Pueden considerarse como normales pequeñas variaciones individuales a las que frecuentemente se les atribuye en influencia genética. De todos modos, entre los veinticuatro y treinta y seis meses de edad han hecho ya su aparición los veinte dientes de la dentición temporal, encontrándose ya a los tres años totalmente formados y en oclusión. Massler considera los treinta y seis meses como normal con una desviación de más/menos seis meses.(Schour y Massler 1940)

En cuanto al sexo, no se han observado diferencias estadísticamente significativas (Morres 1965), ahora bien, parece ser que en las niñas, los dientes temporales erupcionan 1,1 mes antes que en los niños, excepto el primer molar temporal.(Tanguay 1984, Mendoza y Solano 2010)

La siguiente tabla resume toda la cronología referente a la erupción de la dentición temporal. (Tabla 1)

Dientes temporales	Formación tejido duro (semanas en útero)	Cantidad esmalte formado al nacer	Esmalte terminado (meses después nacimiento)	Erupción (promedio edad meses ± DE)	Raíz terminada (Año)
Inferiores					
Incisivo Central	14 (13-16)	Cinco sextos	1,5	10 (8-12)	1,5
Incisivo Lateral	16 (14,75-16,5)	Dos tercios	2,5	11 (9-13)	2
Canino	17 (15-18)	Un tercio	9	19 (16-22)	3,25
Primer Molar	15,5 (14,5-17)	Cúspides unidas; oclusal	6	16 (13-19) Niños	2,5
		totalmente calcificado		(14-18) Niñas	
Segundo Molar	19 (16-23,5)	Vértices cuspidados	11	29 (25-33)	3
		todavía aislados			
Superiores					
Incisivo Central	14 (13-16)	Tres quintos	2,5	8 (6-10)	1,5
Incisivo Lateral	16 (14,75)	Tres quintos	3	13 (10-16)	1,5
Canino	17 (16-)	Un tercio	9	17 (15-21)	3,25
Primer Molar	15,5 (14,5-17)	Cúspides unidas; oclusal	5,5	16 (14-18)	2,25
		completamente calcificado			
Segundo Molar	18 (17-19,5)	Vértices cuspidados	10	27 (23-31) Niños	3
		todavía aislados		(24-30) Niñas	

Tabla 1: Cronología del desarrollo de la dentición temporal.

Basado en los datos de Logan y Kronfeld y ligeramente modificada por McCall y Schour .

(Logan y Kronfeld 1933)

3.- HIPÓTESIS DE TRABAJO

Consideramos la creación de una herramienta virtual que nos permitiera satisfacer a medio-largo plazo las demandas en relación con la adecuación al nuevo modelo educativo basado en las nuevas tecnologías:

Fomento de la capacidad de autoaprendizaje por parte del alumno.

Desarrollo de competencias.

Adaptación del programa educativo a las nuevas tecnologías.

Respuesta al imperativo tecnológico actual.

Mejorar la relación entre costes y eficacia de la enseñanza.

Además planteamos una alternativa al uso de cadáveres para el aprendizaje de la anatomía, presentando un modelo cómodo y más económico en cuanto a tiempo y profesorado.

4.- OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es la creación de un modelo virtual del complejo maxilofacial, partiendo de un sujeto infantil real, que sirva como herramienta educativa en el ámbito de la Anatomía Odontopediátrica.

OBJETIVOS SECUNDARIOS

- 1.- Realizar la representación tridimensional de cada germen del diente permanente.
- 2.- Ejecutar la imagen tridimensional de cada uno de todos los dientes temporales presentes en la cabeza humana infantil analizada.

5.- MATERIAL Y MÉTODO

5.1. **MATERIAL**

Para la realización de este trabajo de investigación, contamos con los cortes tomográficos realizados sobre el cadáver de una cabeza de un espécimen femenino de tres años de edad. Estas imágenes se almacenaron en formato DICOM para trabajar con ellas a través del programa de gestión de imágenes Amira.

El programa Amira 5.3.0 se instaló en un ordenador portátil de la marca Toshiba, modelo Satellite L675- 11N de 64 bits, con un procesador Intel Core I5 M480 a 2,7 GHz y con una Memoria Ram de 4,00 GB, con el sistema operativo Windows 7 Home Premium.

5.2. **MÉTODO**

A partir de los cortes tomográficos procedimos a la reconstrucción tridimensional del maxilar y de la mandíbula.

Las imágenes extraídas de la tomografía computerizada son series consecutivas de imágenes en dos dimensiones (2D) que contienen información de densidades de los diferentes tejidos. Toda esta información se va a transformar y guardar al formato DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) para trabajar con él desde el programa Amira.(Loubele et al. 2006, De Vos et al. 2009, Varga et al. 2013).

El software Amira, instalado y cedido por la empresa D. I. Abadía, permite visualizar las imágenes en los tres planos del espacio, coronal (xy), sagital (yz) y transversal (xz). En cada plano, el usuario puede interactuar, e ir moviéndose corte a corte para examinar de forma rigurosa todas las estructuras óseas y cavidades a nivel craneal. A su vez, permite una reconstrucción tridimensional de la imagen, transformando la unidad bidimensional pixel, a una tridimensional llamada voxel.

El vóxel (volumetric pixel) es la unidad cúbica que compone un objeto tridimensional. Constituye la unidad mínima procesable de una matriz tridimensional y es, por tanto, el equivalente del píxel en un objeto 3D.

Para crear una imagen en tres dimensiones, al tratarse de imágenes en escalas de grises, los vóxeles tienen que sufrir una transformación de densidad en función de las diferentes estructuras. Esta información confiere diferentes valores de densidad a cada vóxel. Esto es importante cuando se han de mostrar detalles interiores de una imagen

que quedaría tapada por la capa exterior más opaca de los vóxeles.

Al igual que los píxeles, los vóxeles no contienen su posición (x,y,z) en el espacio 3D, sino que esta se deduce por la posición del vóxel dentro del archivo de datos.

Las estructuras anatómicas capturadas en el escáner, deben convertirse en áreas marcadas y reconstruidas tridimensionalmente. Este proceso lleva el nombre de segmentación. En nuestro proyecto hemos segmentado la mandíbula. Todas estas áreas delimitadas en dos planos, de forma manual, y generadas de forma semiautomática a un sistema tridimensional, han de ser catalogadas con un nombre (mandíbula, cada diente y germen con su nombre...), de tal manera que cuando el usuario pinche sobre la estructura, se marque en todos los planos del espacio y se genere automáticamente la estructura tridimensional que representa, en una organización espacial adecuada.

Para conseguir esto a partir de las imágenes generadas por el escáner, se realizan los procedimientos de segmentación y etiquetado.

La segmentación de imágenes se define como la partición de una imagen en regiones constituyentes no solapadas, las cuales son homogéneas con respecto a alguna característica como una intensidad o una textura. Es decir, con la segmentación definimos los bordes de las diferentes estructuras del modelo en cuestión, convirtiendo los datos en escala de grisees de las imágenes tomográficas en dos dimensiones en una representación binaria de los píxeles para crearse así el volumen deseado. En muchas ocasiones, es complicado definir qué escala de grises pertenece a una u otra estructura delimitada.(Varga et al. 2013)

El etiquetado nos permite lograr la clasificación de píxeles, objetivo deseable en el tratamiento de imágenes medicas, ya que, normalmente, se hace necesaria la clasificación de regiones desconectadas que pertenecen al mismo tejido.

El siguiente cuadro resume el esquema de trabajo del programa Amira:

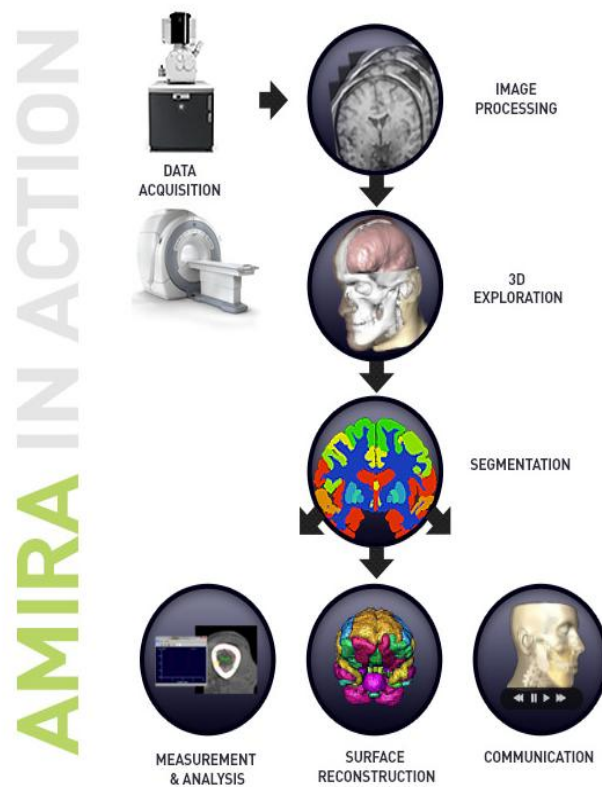


Fig.27: Esquema de trabajo del programa Amira. Tomada de vsg3d.com (Amira 2013)

Nosotros hemos segmentado los huesos maxilar y mandibular, con todos los dientes temporales erupcionados, así como los gérmenes de los dientes definitivos en formación. Para ello se ha utilizado un código arbitrario de colores, así como la denominación anatómica de las diferentes estructuras.

El coste en horas de trabajo de estos dos procedimientos de segmentado y etiquetado supuso un total de aproximadamente 400 horas exclusivamente, de labor informática.

6.- RESULTADOS

A partir de las imágenes tomográficas obtenidas y transferidas al programa Amira 5.3.0. obtuvimos en nuestro ordenador todos los datos concernientes a la cabeza divididos en cortes: coronal (xy), sagital (yz) y transversal (xz), de extrema utilidad para trabajar en la segmentación y el etiquetado.

Se obtuvieron un total de 512 cortes en el plano coronal (xy) y sagital (yz) y 309 en el transversal (xz).

Así mismo, el programa nos permite trabajar a nivel tridimensional como bidimensional, en sus diferentes pantallas.

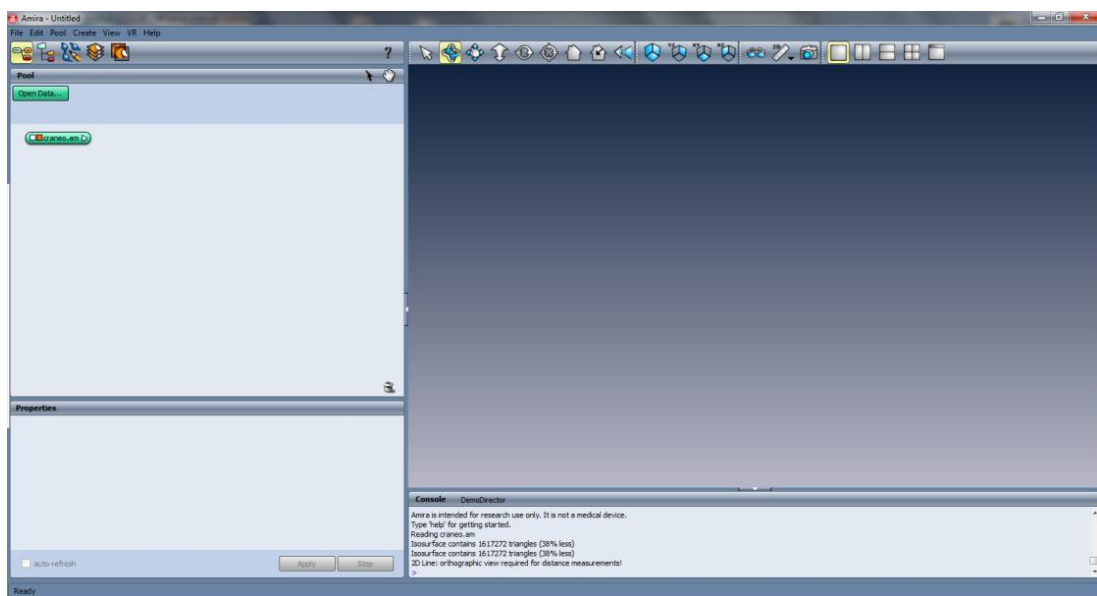


Fig.28: Imagen de la pantalla de inicio principal del programa Amira 5.3.0

La figura 28 muestra la pantalla de inicio del programa, a partir de la que vamos a poder acceder a las diferentes herramientas de trabajo, así como visualizar las segmentaciones obtenidas. Las siguientes tres figuras nos muestran la estructura esquelética de la que partíamos, mediante la obtención de una reconstrucción tridimensional con una de las herramientas del programa. (Figura 29)

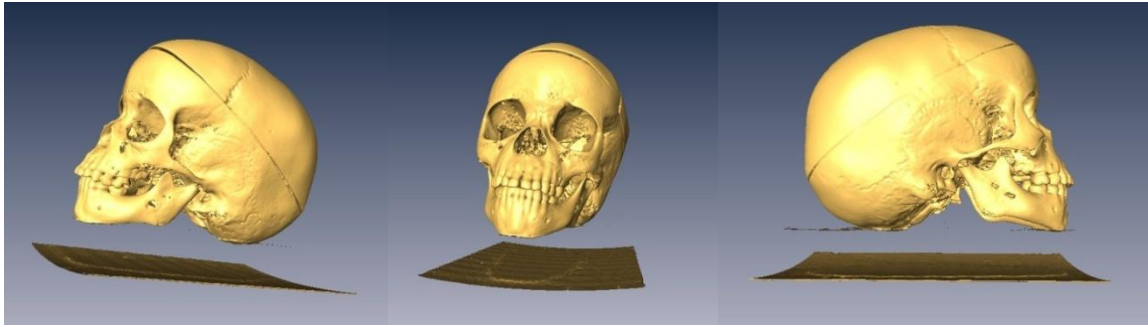


Fig.29: Reproducción 3D de la cabeza del cadáver en visiones laterales y frontal

A partir de la pantalla de inicio, accedemos a nuestra pantalla de segmentaciones, desde donde trabajaremos para delimitar nuestra estructura mandibular y los órganos dentarios. La figura 30 muestra el botón de acceso a dicha pantalla.

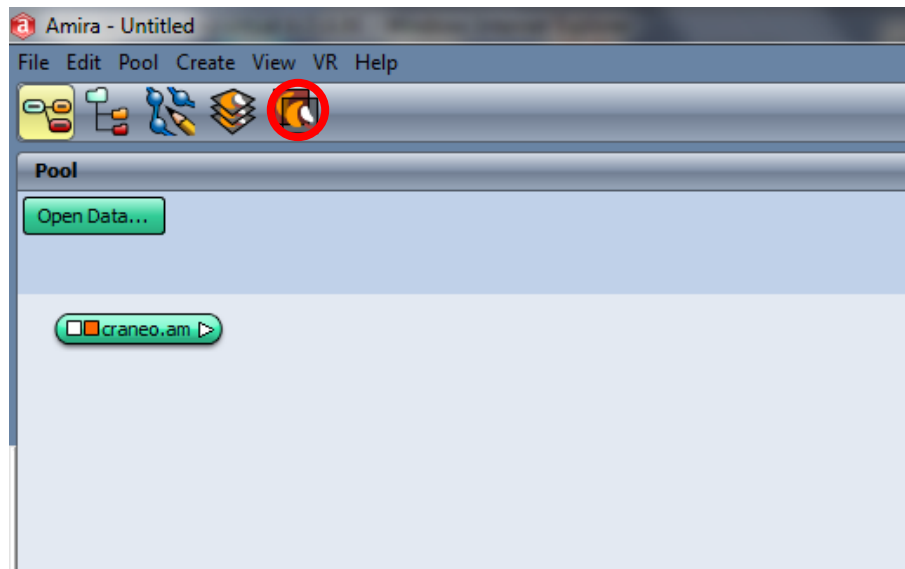


Fig.30: Botón de acceso a la herramienta de segmentación (rodeado de círculo rojo)

Una vez en dicha pantalla procedimos a segmentar en primer lugar el hueso mandibular y posteriormente los dientes permanentes y gérmenes de dientes temporales. Una vez finalizado el hueso mandibular, procederemos a realizar la misma operación con el hueso maxilar. Como demuestra la figura 31, podemos trabajar en los tres planos del espacio, delimitados por los cuadrados superiores y el inferior izquierdo. El cuadrado inferior derecho corresponde a una simulación de los tres planos en la que podemos interactuar y visualizar el lugar en el que nos encontramos.

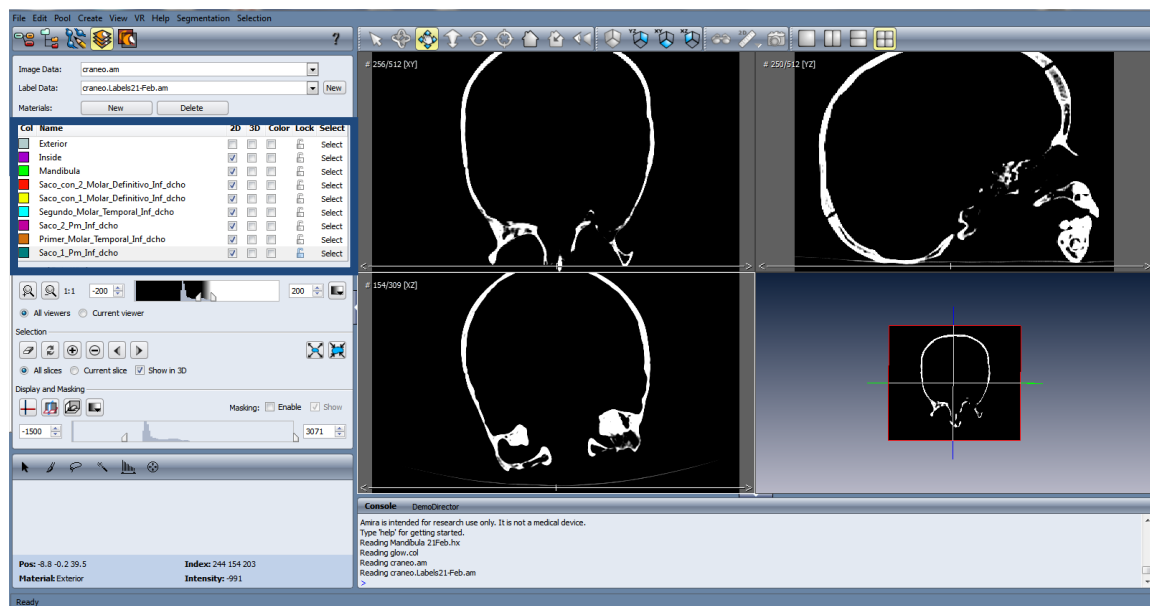


Fig.31: Pantalla de segmentaciones

En nuestro caso utilizamos como corte de partida el sagital, porque opinamos que es en el que se aprecian con mayor claridad en origen las diferentes estructuras. Para ello obviamos el resto de cortes y en la pantalla colocamos únicamente el axial y ampliamos la imagen para una mayor visualización a la hora de comenzar a segmentar. Con el cursor del ratón vamos dibujando y delimitando estructuras. La figura 32 muestra el inicio de la segmentación mandibular.

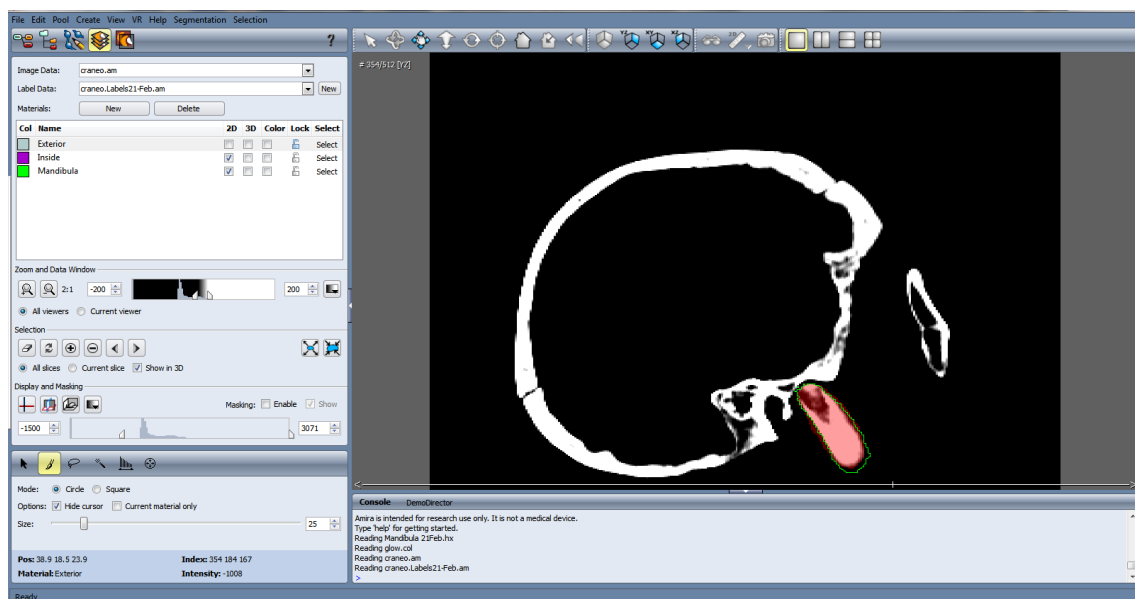


Fig.32: Comienzo de la segmentación mandibular

Como vemos, existe un área roja, que el que vayamos delimitando nosotros y al que asignaremos un nombre y un color (un “label”), que como se aprecia, queda reflejado en la parte superior izquierda de la pantalla. (recuadro azul de la figura). La asignación de nombre y color es arbitraria. En nuestro trabajo se han segmentado un total de cincuenta, que incluyen el hueso mandibular, la totalidad de la dentición temporal inferior, el hueso maxilar con su correspondiente dentición temporal, así como todos los correspondientes gérmenes de los dientes definitivos en sus respectivos estadios evolutivos. La figura 33 resume las estructuras segmentadas, con su etiquetado y asignación cromática.



















































	Mandibula		Saco_2_Molar_Definitivo_Superior_Dcho
	Saco_con_2_Molar_Definitivo_Inf_dcho		Saco_1_Molar_Definitivo_Superior_Dcho
	Saco_con_1_Molar_Definitivo_Inf_dcho		Saco_2_Molar_Definitivo_Superior_Izdo
	Segundo_Molar_Temporal_Inf_dcho		Saco_2_Pm_Definitivo_Superior_Dcho
	Saco_2_Pm_Inf_dcho		Saco_1_Molar_Definitivo_Superior_Izdo
	Primer_Molar_Temporal_Inf_dcho		Segundo_Molar_Temporal_Superior_Dcho
	Saco_1_Pm_Inf_dcho		Primer_Molar_Temporal_Superior_Dcho
	Saco_canino_inf_Definitivo_dcho		Canino_Temporal_Superior_Dcho
	Canino_Temporal_inf_dcho		Saco_1_Pm_Definitivo_Superior_Dcho
	Saco_Incisivo_Lateral_Definitivo_inf_dcho		Saco_Canino_Definitivo_Superior_Dcho
	Incisivo_Lateral_Inf_Temporal_dcho		Incisivo_Lateral_Temporal_Superior_Dcho
	Saco_Incisivo_Central_Inf_Definitivo_dcho		Saco_Incisivo_Lateral_Definitivo_Superior_Dcho
	Incisivo_Central_Inf_Temporal_dcho		Saco_Incisivo_Central_Definitivo_Superior_Dcho
	Incisivo_Central_Inf_Temporal_izdo		Incisivo_Central_Temporal_Superior_Dcho
	Incisivo_Lateral_Inf_Temporal_izdo		Incisivo_Central_Temporal_Superior_Izdo
	Canino_Temporal_inf_izdo		Saco_Incisivo_Central_Definitivo_Superior_Izdo
	Primer_Molar_Inferior_Temporal_izdo		Saco_Incisivo_Lateral_Definitivo_Superior_Izdo
	Segundo_Molar_Inferior_Temporal_izdo		Incisivo_Lateral_Temporal_Definitivo_Superior_Izdo
	Saco_Incisivo_Central_Inf_Definitivo_izdo		Canino_Temporal_Superior_Izdo
	Saco_Incisivo_Lateral_Inferior_Definitivo_izdo		Saco_Canino_Definitivo_Superior_Izdo
	Saco_Canino_Definitivo_Inferior_izdo		Saco_1Pm_Definitivo_Superior_Izdo
	Saco_1Pm_Definitivo_Inferior_izdo		Saco_2Pm_Definitivo_Superior_Izdo
	Saco_2Pm_Definitivo_Inferior_izdo		Primer_Molar_Temporal_Superior_Izdo
	Saco_1_Molar_Definitivo_Inferior_izdo		Segundo_Molar_Temporal_Superior_Izdo
	Saco_2_Molar_Definitivo_Inferior_izdo		Hueso_Maxilar

Fig.33: Estructuras segmentadas y etiquetadas

Todo este trabajo finalmente conduce a la creación de una estructura tridimensional totalmente interactiva del complejo maxilo-mandibular. Las siguientes figuras demuestran el resultado final del proceso.(Figuras 34-45)

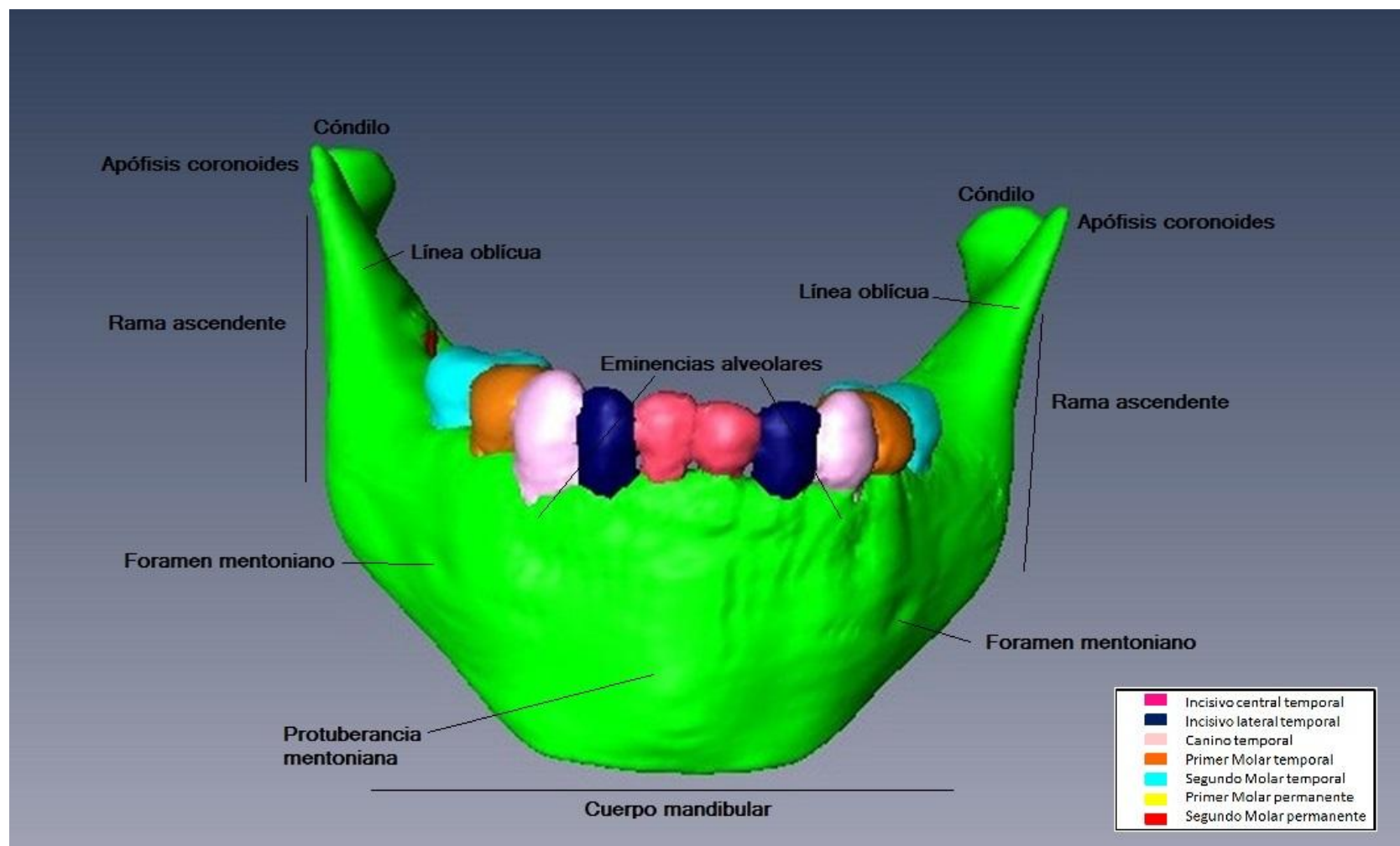


Fig.34: Visión frontal mandibular

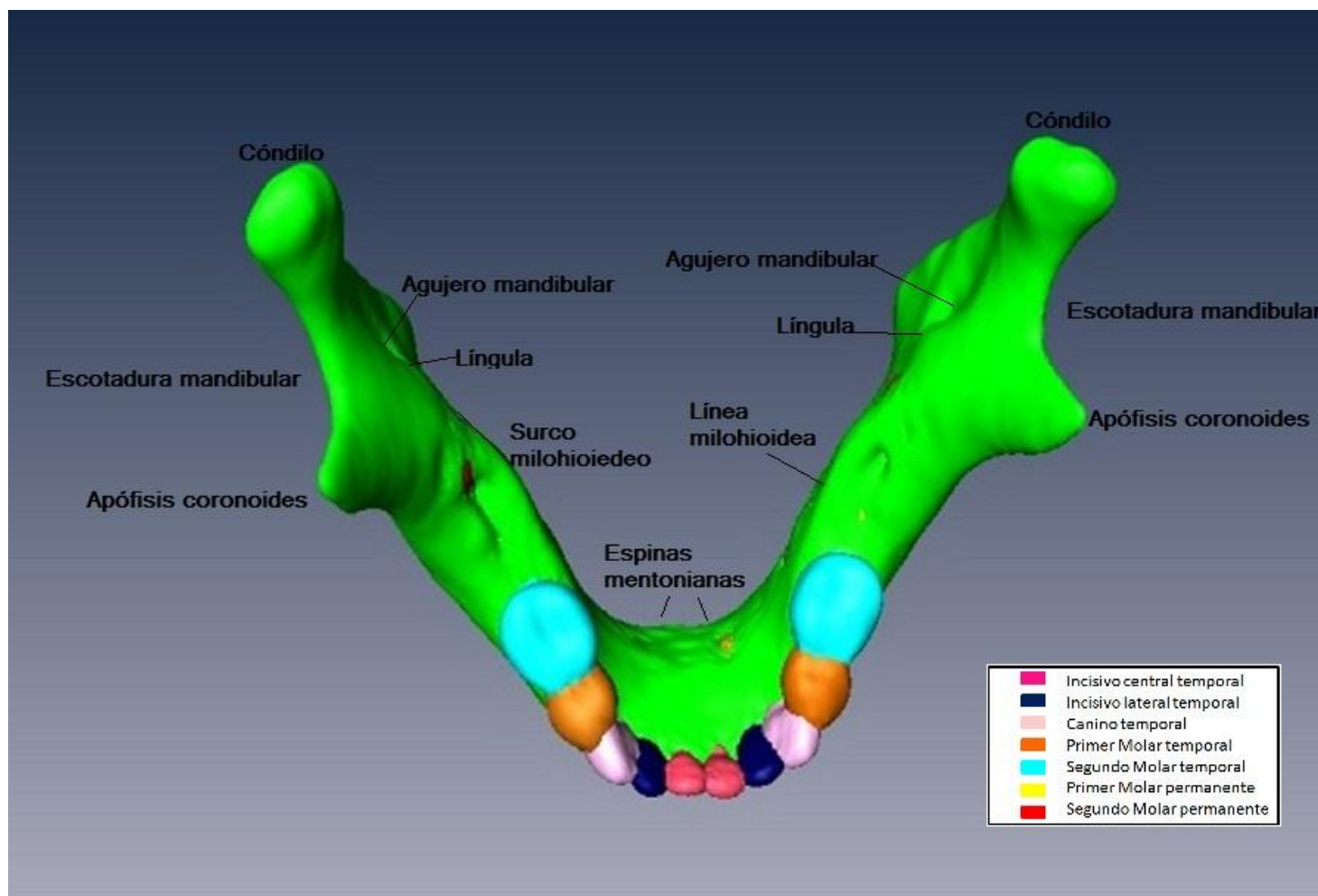


Figura 35: Visión coronal mandibular

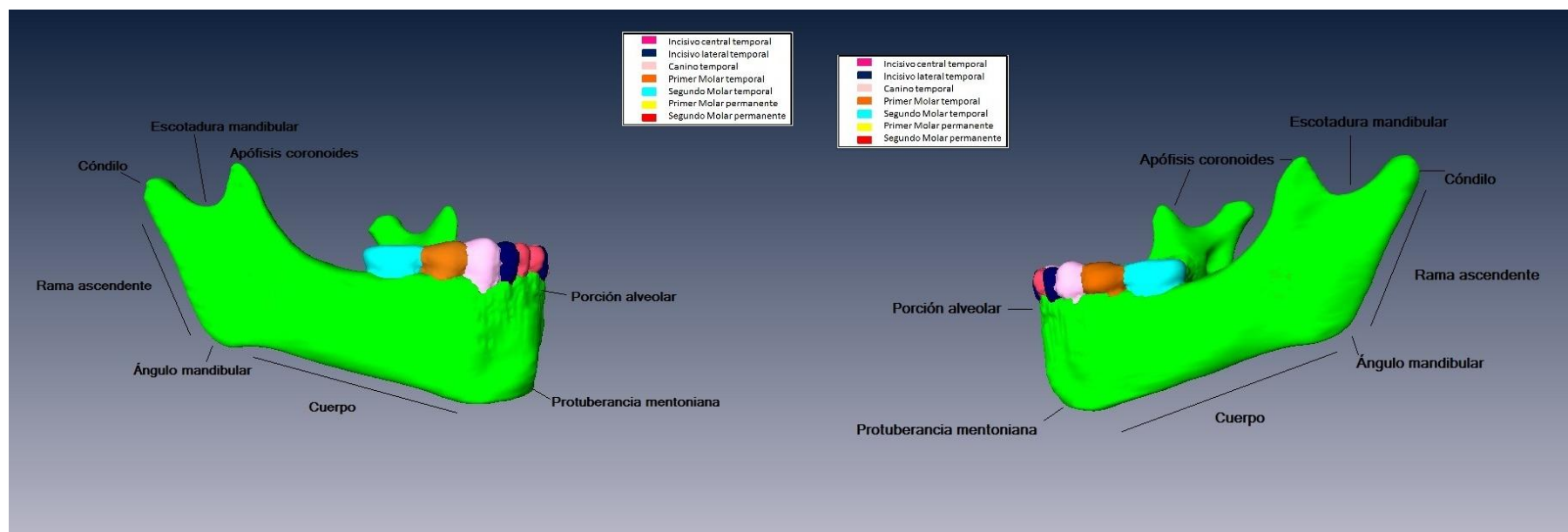


Fig.36: Visión lateral derecha mandibular

Fig.37: Visión lateral izquierda mandibular

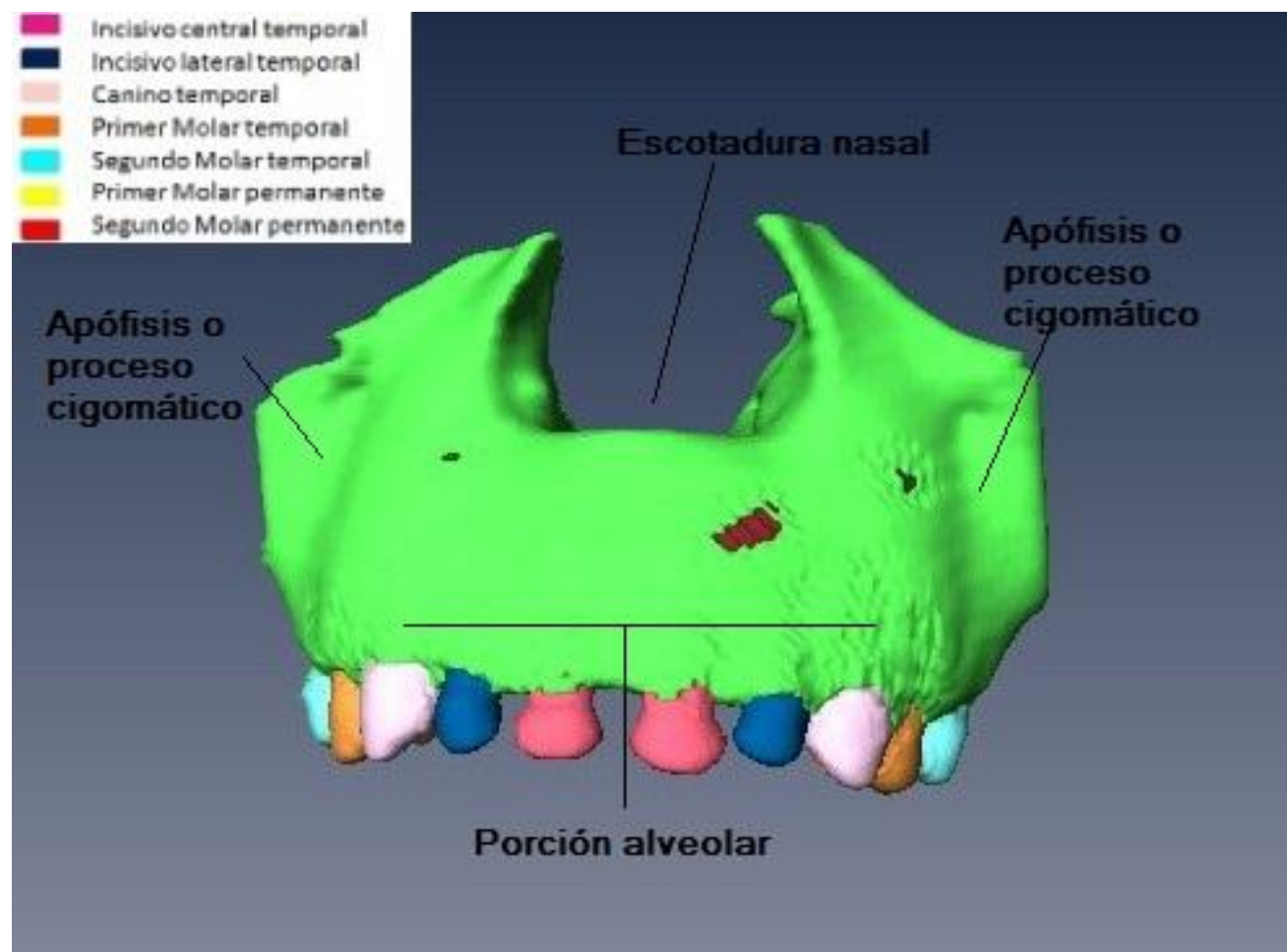


Fig.38: Visión frontal del maxilar

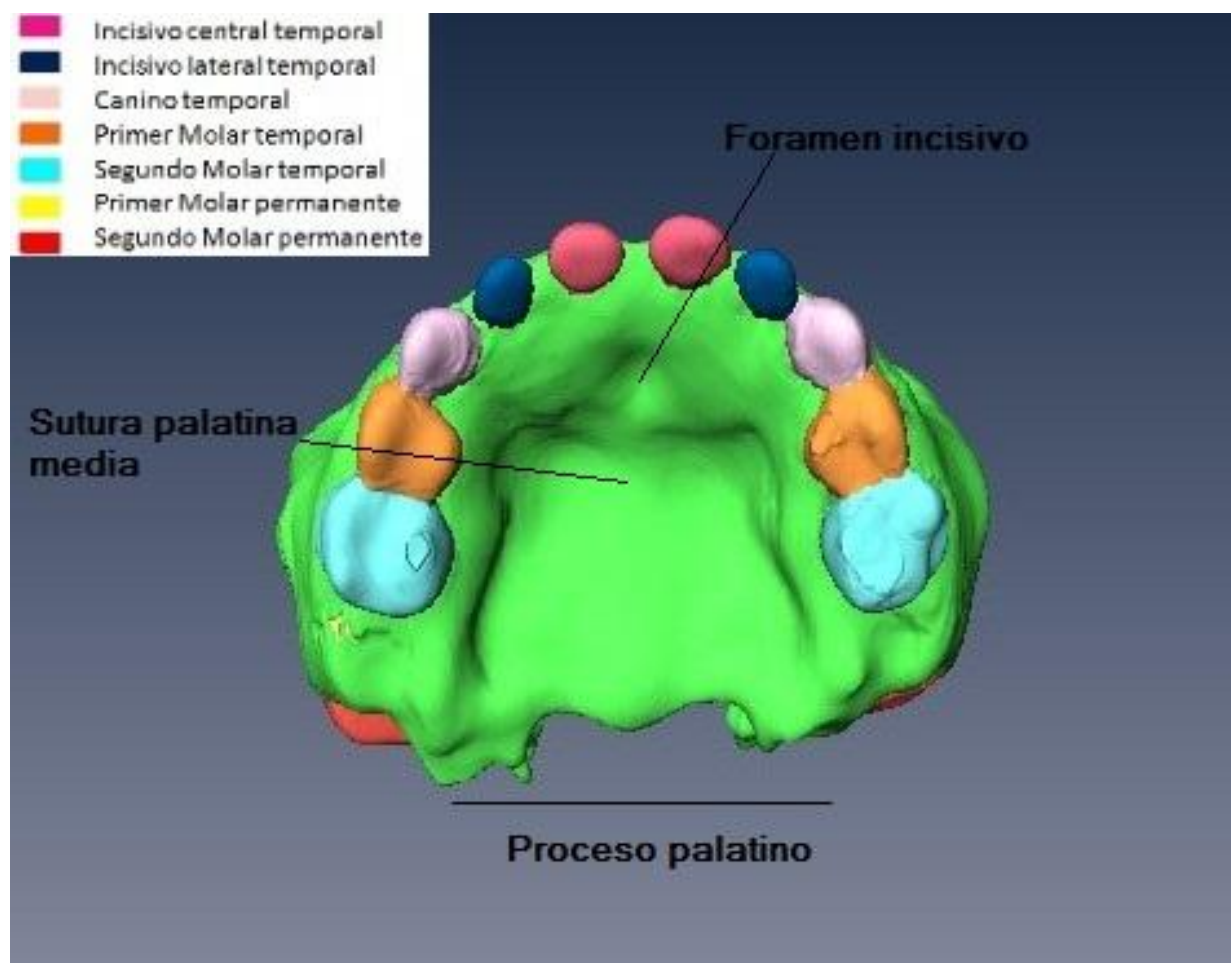


Fig.39: Visión palatina del maxilar

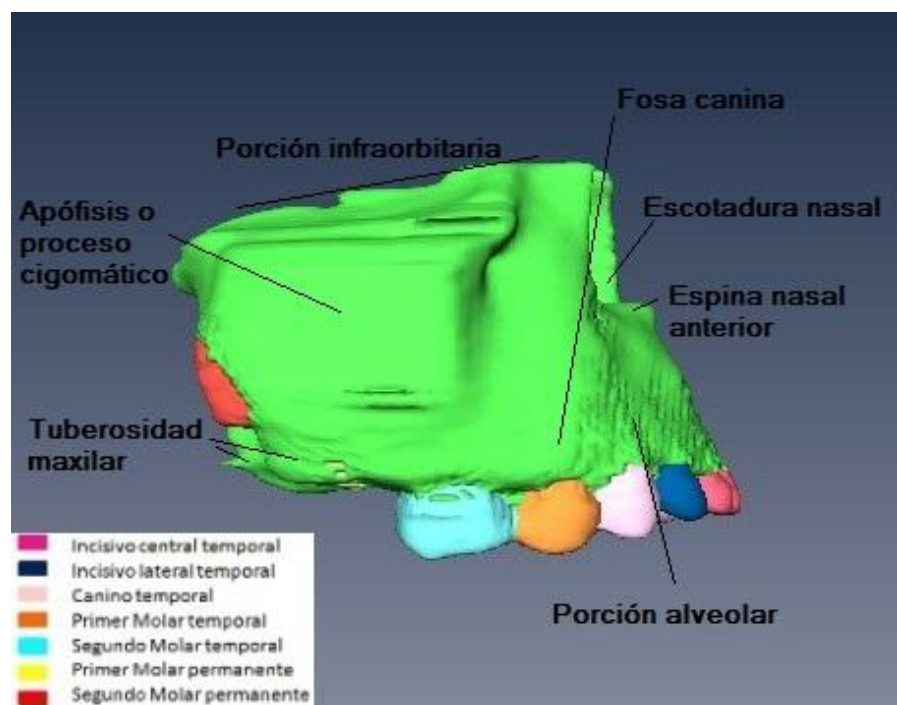


Fig.40: Visión lateral derecha del maxilar

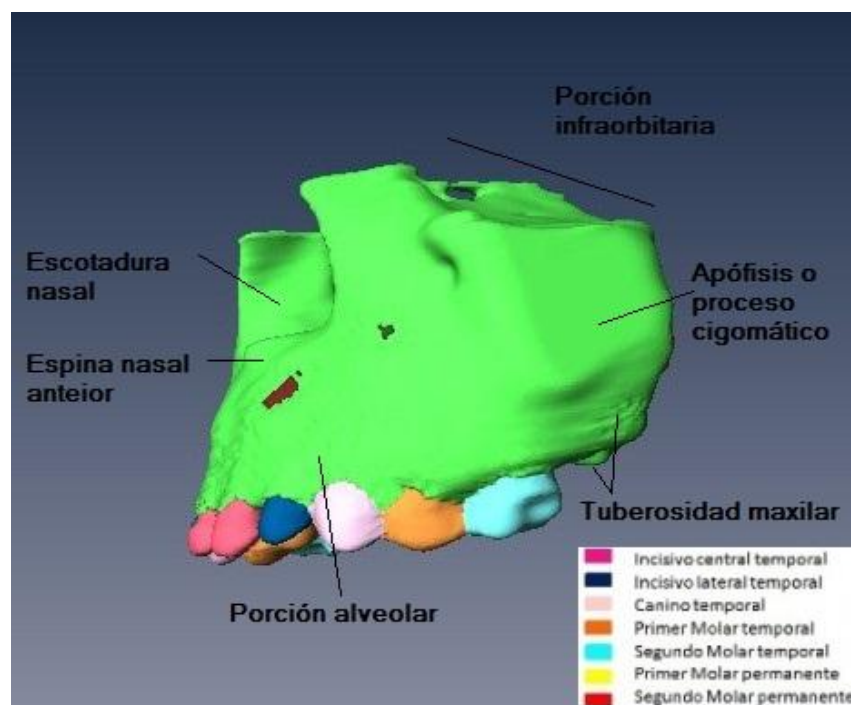


Fig.41: Visión lateral izquierda del maxilar

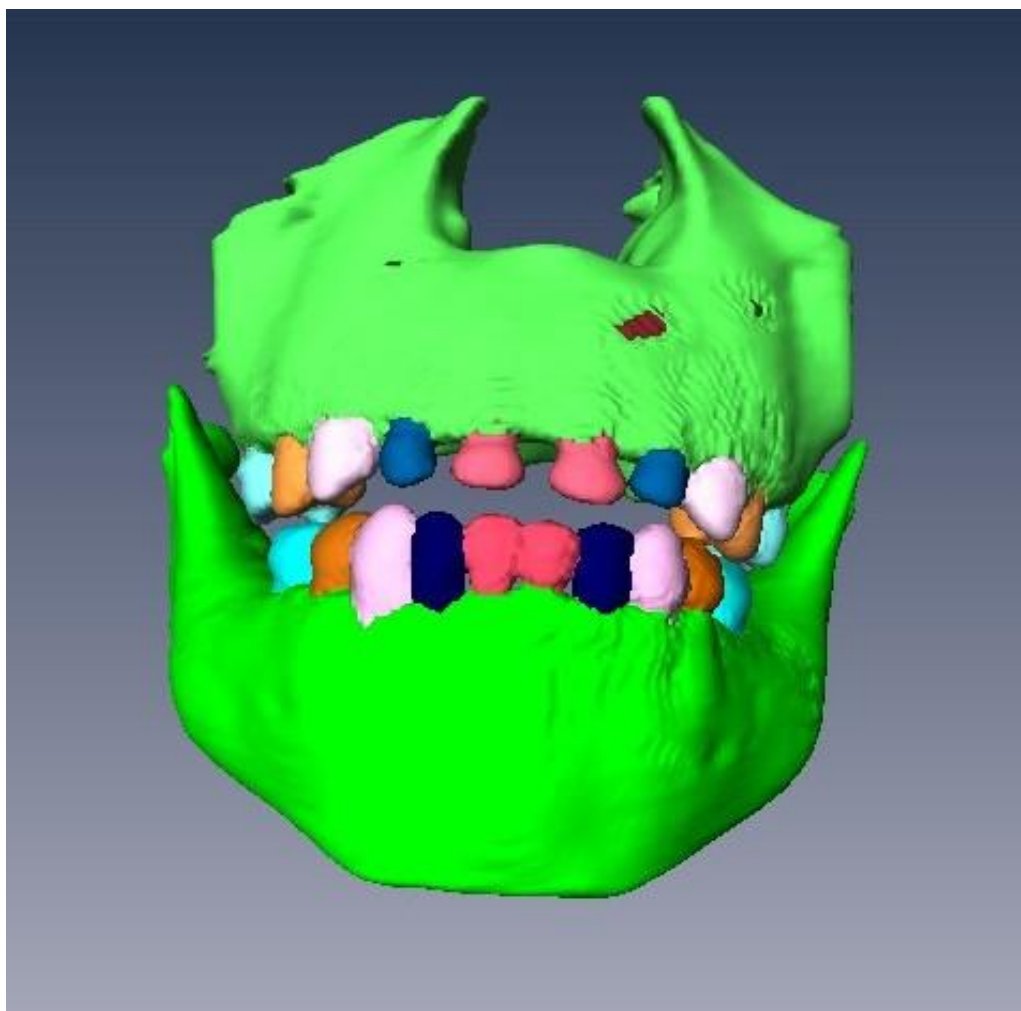


Fig.42: Visión frontal del complejo máxilo-mandibular

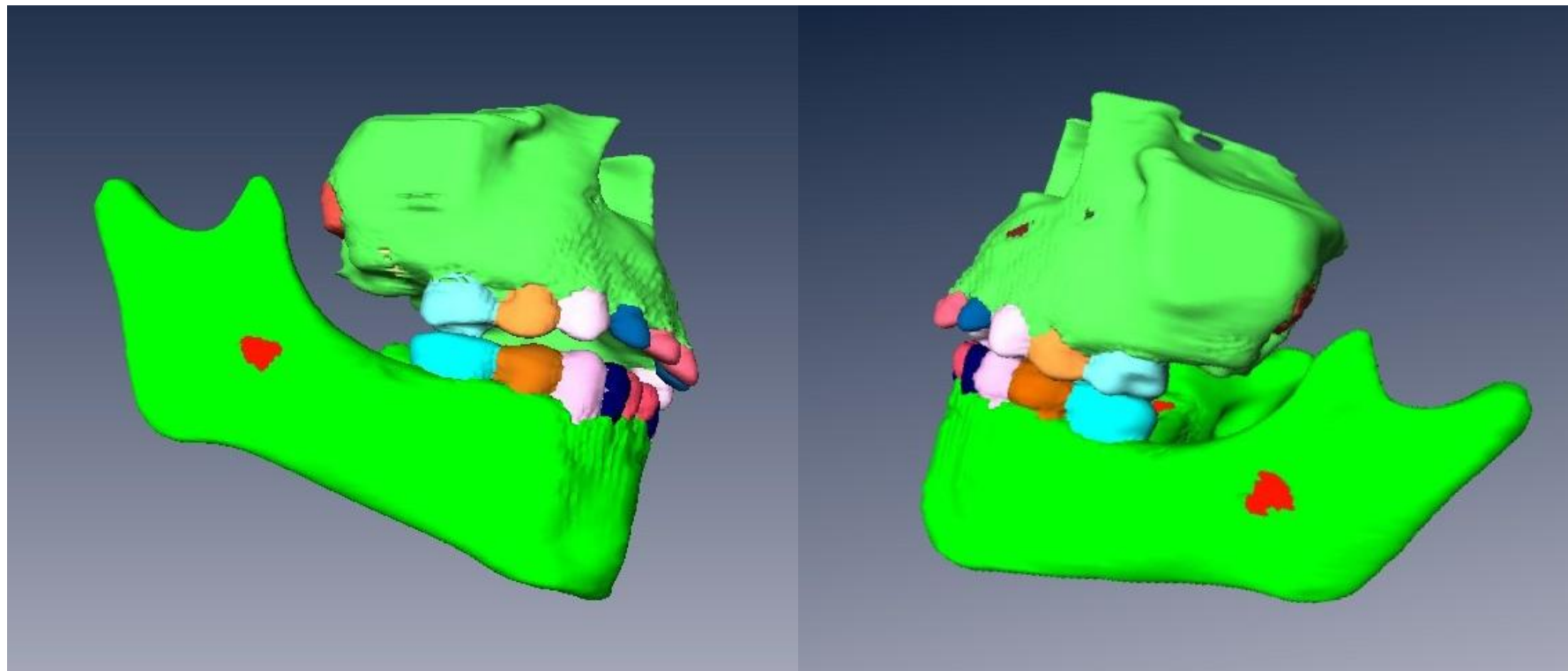


Fig.43: Visión lateral derecha e izquierda del complejo máxilo- mandibular

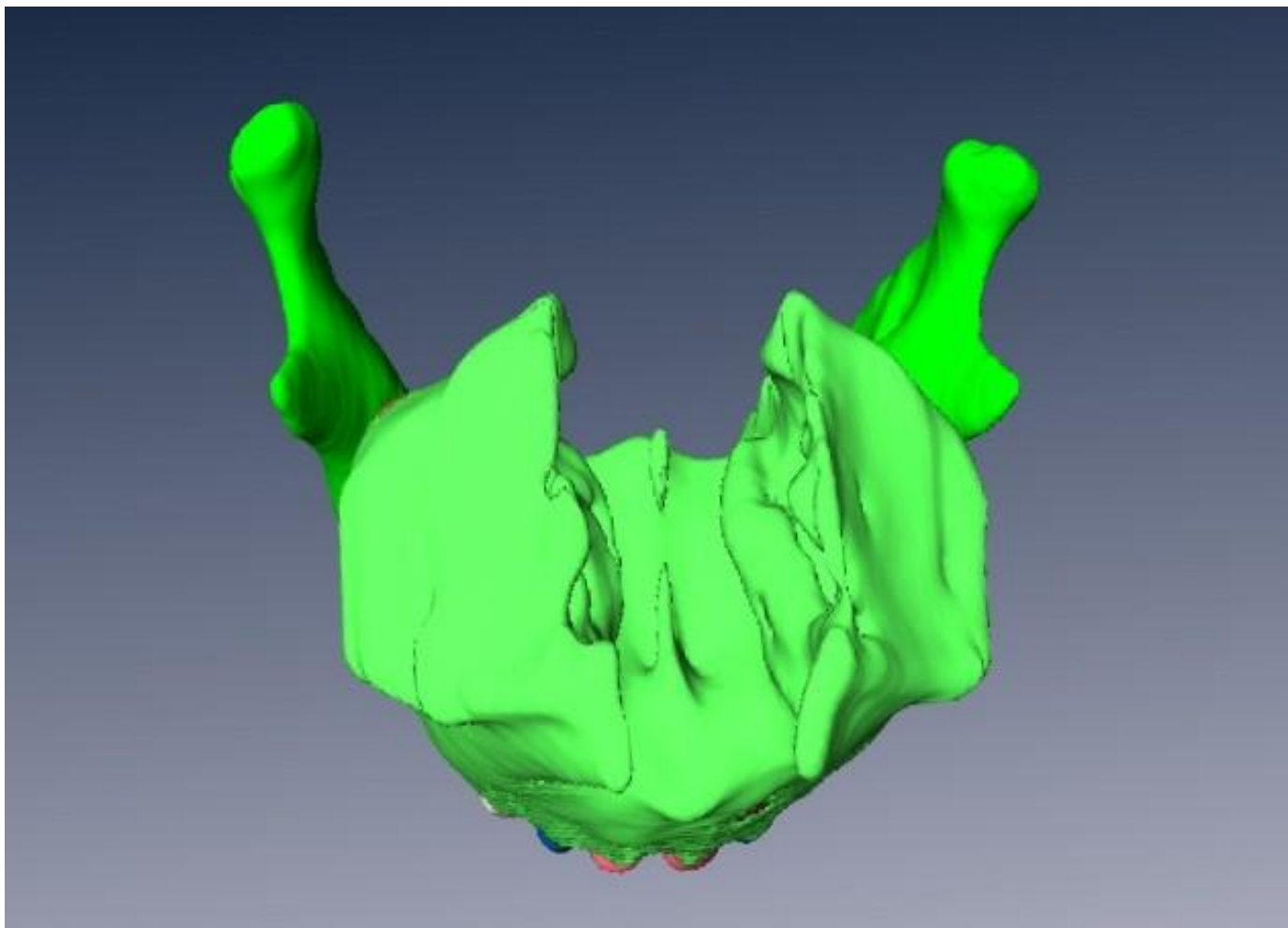


Fig 44: Visión coronal del complejo máximo-mandibular

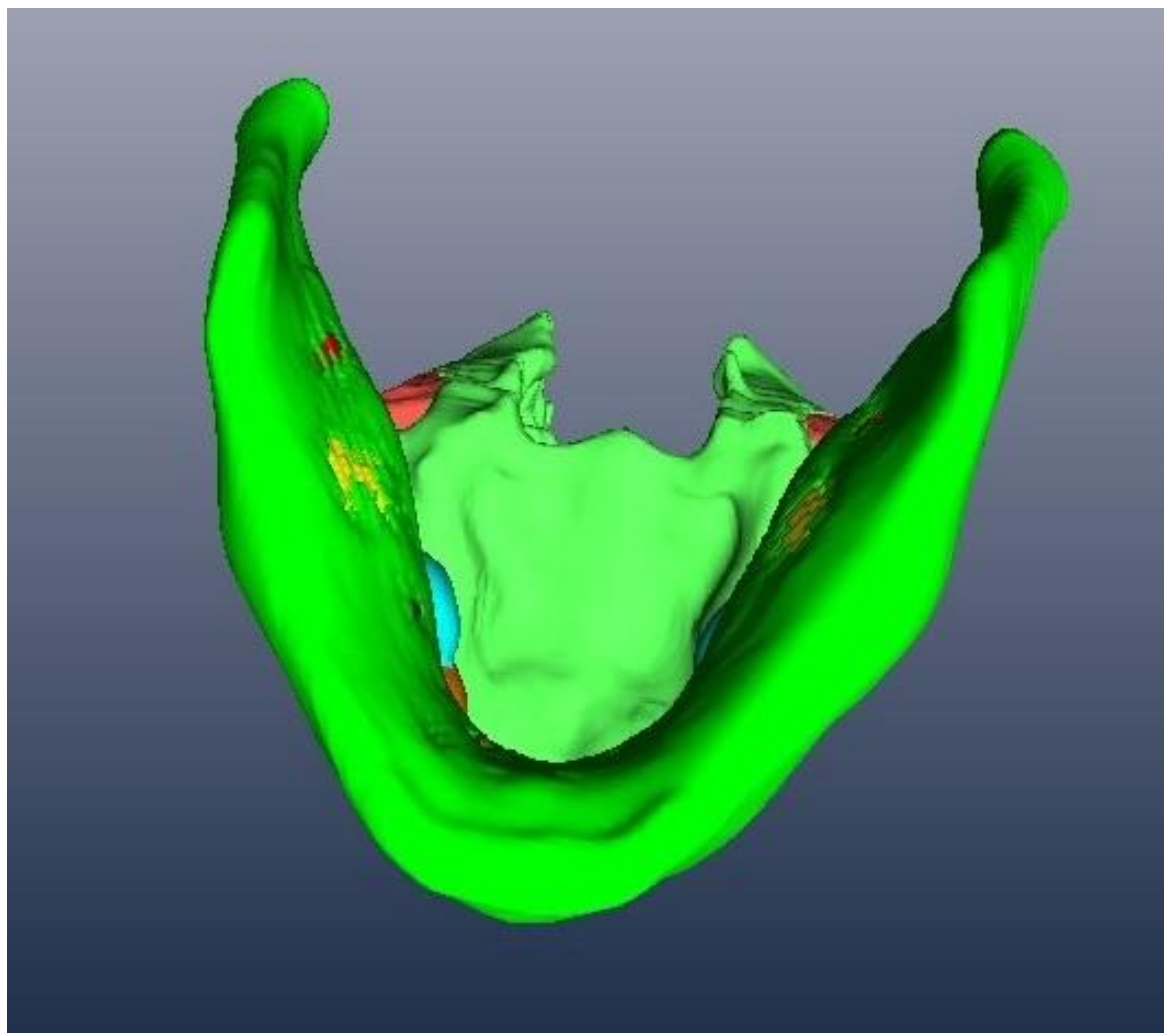


Fig.45: Visión inferior del complejo máxilo-mandibular

En el apartado de Anexos, adjuntamos en CD- ROM que incluye el programa, así como toda la segmentación, para poder interactuar con él y visualizar el modelo desde todos los planos, que hemos trabajado y elaborado en la presente investigación en aras a que el estudiante de odontología pueda diferenciar desde el punto de vista de una imagen real y tridimensional, el diferente estado de las estructuras dentarias de un ser humano de tres años de edad.

7.- DISCUSIÓN

El aprendizaje de Anatomía de un modo convencional ha estado basado en el empleo de atlas y disecciones. Un atlas proporciona imágenes claras y detalladas de todos los elementos de estudio, pero con la limitación de la visualización en dos dimensiones.(Juanes et al. 2012) Las disecciones ayudan al alumno a familiarizarse con la realidad, permitiendo comprobar la organización espacial de las estructuras de estudio, sus relaciones, inserciones...pero tienen el problema de la temporalidad y la dificultad de la obtención de los especímenes.(Zhang et al. 2003, Yuan et al. 2008) Además con estos métodos convencionales los estudiantes se encuentran muchas veces con materiales en pobre estado de conservación, que dificultan la visualización de estructuras básicas.(Trelease at. 2000, Winkelmann 2007). No debemos olvidar el aspecto psicológico que supone para el alumno enfrentarse a un cadáver, a los olores de la disección (Jones 1997). Varios artículos demuestran que los efectos psicológicos permanecen en el alumno en forma de pesadillas, insomnio, depresiones, dificultades en el aprendizaje...(Jones 1997, McLachlan et al. 2004). No obstante no se deben excluir estos métodos convencionales, si no complementarlos con métodos alternativos como el aprendizaje virtual.(Petersson et al. 2009)

Para tratar de acercar al alumno y al profesional sanitario hacia un aprendizaje más dinámico y adaptado a las nuevas tecnologías surgió la idea de crear bases de datos anatómicas, que permitieran, mediante una conexión en red, acceder a un amplio conocimiento sobre especímenes reales previamente digitalizados. Así, surgió la idea del “*Visible Human Project*” por la NLM. Este proyecto sentó las bases para posteriores trabajos como el Visible Korean Human (VKH) y el Chinese Visible Human (CVH), que trataron de mejorar la idea inicial americana.

Estos tres proyectos sentaron las bases de lo que hoy entendemos como “Medicina digital”. Pero presentaban ciertas limitaciones que se han podido mejorar con el paso de los años. Un aspecto importante que lo diferencia de nuestro proyecto, es el tratamiento del cadáver. Al emplear criosecciones, los cadáveres debían ser sometidos a la inyección de determinados colorantes que permitiesen determinar las diferencias entre las estructuras. Con el avance de las tecnologías nosotros podemos llegar a esta diferenciación simplemente seleccionando un color diferente para cada una de ellas en el software mientras segmentamos y etiquetamos las diferentes estructuras, acciones que en los proyectos previos no realizaban. La tabla 2 resume las principales diferencias del proyecto descrito en este trabajo de investigación con los anteriormente mencionados.

Estudio	Año	Localización	Especimen	Imágenes	Limitaciones	Implicación
VHP	1994	Universidad Colorado NLM	Varón 38 años (Visible man)	Resonancia Magnética Tomografía Criosecciones	Espesor elevado secciones (5 mm) Tratamiento cadáver	Primer estudio sobre especimen real Base para la creación de biblioteca imágenes digital Base para proyectos futuros
VHP	1995	Universidad Colorado NLM	Mujer 59 años (Visible woman)	Resonancia Magnética Tomografía Criosecciones	Atrofia útero y ovarios Espesor secciones elevado Tratamiento cadáver	Primer estudio sobre especimen real Base para la creación de biblioteca imágenes digital Base para proyectos futuros
VKH	2001	Universidad Ajou	Varón 33 años	Resonancia Magnética Tomografía Criosecciones	Paciente con leucemia	Segmentación de estructuras Espesores más finos y sin gaps
CVH	2002	Universidad de Hong Kong	Varón 35 años	Resonancia Magnética Tomografía Criosecciones	Tratamiento cadáver No segmentación	Especímen representativo de población asiática Base para proyectos futuros
CHV	2003	Universidad de Hong Kong	Mujer 22 años	Resonancia Magnética Tomografía Criosecciones	Tratamiento cadáver No segmentación	Especímen representativo de población asiática Base para proyectos futuros
Nuestro proyecto	2011	Universidad Complutense de Madrid Universidad de Salamanca	Mujer 3 años	Tomografía	Únicamente cortes tomográficos Sólo esqueleto craneofacial	Primer modelo sobre especimen infantil Utilidad odontológica

Tabla 2: Principales diferencias del proyecto descrito en este trabajo de investigación con otros proyectos

En el presente proyecto, hemos obtenido únicamente las imágenes de cortes tomográficos, a partir de un cráneo que se encuentra en óptimas condiciones de conservación, que cumplen realmente con los objetivos descritos. Además, cabe destacar que hasta ahora no existe ningún modelo similar sobre espécimen real de un sujeto en edad infantil.

Aparte de la importancia e innovación que supusieron, en opinión de los investigadores, los trabajos descritos previamente como bases de datos digitales a disposición mundial, un paso más supuso el empleo de las imágenes obtenidas como sustento para modelos volumétricos reales que sirvieran para el aprendizaje de las destrezas diagnósticas, quirúrgicas...(Juanes 2003) Por ejemplo, Temkin et al describen un sistema tridimensional a partir del Visible Human al que incorporarán sistemas hápticos y de voz para interaccionar con el modelo.(Temkin et al, 2002) Igualmente, a partir del VKH, se creó un fantoma en tamaño real, que permitiese simular situaciones quirúrgicas reales, planificándolas en conjunto desde la base de datos digital.(Bichlmeier et al. 2008) Shin et al. construyeron igualmente a partir del VKH un modelo del tracto urogenital a través dl programa 3D- DOCTOR, en el que resaltan la importancia del uso de imágenes de TC y RNM con una utilidad más allá que la mera diagnóstica, creando simuladores que mejorarían las destrezas quirúrgicas. (Shin et al. 2011). Pommert al. Crearon un modelo del torso y del miembro superior a partir de las imágenes del VHP, en aras a crear unas aplicaciones tanto docentes, como de simuladores en endoscopia, ecografías, radiografías, así como accesos quirúrgicos. Para ellos trabajaban con un simulador del tipo Voxel- man, en el que pueden incorporar situaciones patológicas de mayor o menor dificultad a fin de enfrentarse a ellas las veces que sean necesarias para mejorar la técnica. Igualmente plantean una idea de futuro, que sería la segmentación inmediata de imágenes obtenidas de las pruebas diagnósticas de un paciente, para ganar una mayor especificidad y planificar cada situación en tiempo real.(Pommert et al. 2006).

Una revolución al respecto, supuso la creación en el Centro médico Universitario Hamburg-Eppendorf de Alemania, el sistema “Voxel Man”.(Yuan et al. 2008) El proyecto surgió previamente a la existencia del VHP, por la inquietud del profesor Karl Heinz Höhne que creó una simulación tridimensional de un cerebro de un sujeto vivo a partir de cortes tomográficos. Pero la revolución se produjo en los años 90 cuando contaron con las imágenes tomográficas y de resonancia del VHP. A partir de

ellas crearon sistemas de segmentación y visualización que permitieron la creación de simuladores y navegadores interactivos. Estos simuladores permitían aplicar las imágenes obtenidas de diferentes pruebas diagnósticas, transformándolas, mediante diferentes softwares, en modelos tridimensionales específicos de las diferentes áreas anatómicas, dotados de una visualización precisa y específica, de tal modo que se trabaje igual que si se realizase sobre un espécimen real.(Spicer et al. 2003, Panait et al. 2009) Comenzaron por simuladores del cerebro, y torso, en los que se podían planificar cirugías, recorrer sistemas venosos, arteriales, planificar sistemas diagnósticos con endoscopia, estudiar la anatomo-fisiología de las extremidades... con una aproximación a la realidad inmejorable. Presentan tres simuladores, dentro de lo que los llaman “See and Feel the Difference” uno, del oído medio, otro de endoscopia sinusal y uno dental, en los que el usuario siente y trabaja sobre las reconstrucciones tridimensionales mediante la incorporación de hardwares basados en realidad virtual y un sistemas de detección de presiones, conocidos como hápticos.(Voxel Man 2001)

Todos estos modelos tridimensionales han supuesto un gran avance para la planificación quirúrgica y para la cirugía guiada, permitiéndose tratamientos menos invasivos, tiempos quirúrgicos más cortos, y mejoras en el postoperatorio. De hecho, hoy en día son un pilar fundamental en muchos procedimientos quirúrgicos en los diferentes ámbitos de la medicina.(Varga et al. 2013).

Desde el año 2009 el modelo dental interactivo está permitiendo una enseñanza de la operatoria dental a partir de un sistema feedback. Para ello crearon un modelo virtual a base de cortes tomográficos del que segmentaron los dientes y maxilares y se trabajó para crear un modo estereoscopio, de tal modo que se viesan en tres dimensiones a través de la pantalla, si el usuario contaba con gafas especiales para su visualización. Igualmente se asociaba al equipo un instrumento rotatorio con movimiento en las tres dimensiones y con un sistema de feedback, que permite de una forma fidedigna sentir la aplicación de fuerza aplicada sobre el diente o hueso, apreciándose las diferencias entre esmalte, dentina, tejido cariado. Igualmente se dota de un pedal, que permite ajustar la velocidad del instrumento, y crear situaciones reales, tales como caries, cirugías periapicales...(Voxel Man 2010, Pohlennz et al. 2010)

A nivel de simulación del macizo maxilofacial encontramos en la literatura más ejemplos que demuestran que los modelos tridimensionales son una herramienta

novedosa y bastante útil. A partir del Virtual Chinese Human, se creó un modelo de mandíbula similar al del presente proyecto, pero empleando como programa auxiliar Photoshop, y sin proceder a la segmentación de las estructuras.(Zhang et al.2008)

Con una metodología similar a la nuestra, en la Universidad de Ontario se construyó un modelo de cabeza y cuello a partir de un cadáver de un varón edéntulo, basándose en imágenes tomográficas. Utilizando el programa Amira segmentaron y etiquetaron las diferentes estructuras y procedieron a la reconstrucción tridimensional del mismo. Llegaron a segmentar setenta estructuras, incluidas estructuras blandas (músculos, glándulas...) que se pueden ir añadiendo y quitando para un correcto estudio anatómico.(Nguyen y Wilson 2009) Dado que las imágenes parten de un estudio tomográfico creemos que las segmentaciones referentes a tejidos blandos han sido simuladas. No obstante, y como describen los autores, creemos que es una herramienta de gran utilidad, ya que el dinamismo, la interactividad... hacen que el aprendizaje sea más eficaz. Este tipo de herramientas, permiten cambiar tamaños, girar los modelos para una mejor visualización de las estructuras, modificar densidades para ver relaciones anatómicas, interactuar en los diferentes planos, trabajar en dos y tres dimensiones...(Nguyen y Wilson 2009)

A nivel anatomo-fisiológico, es interesante el trabajo llevado a cabo en la Universidad de Auckland (Nueva Zelanda), donde crearon un modelo virtual para el estudio del sistema masticatorio. Para ello, generaron un hipotético modelo óseo basado en las mediciones antropométricas de más de 1000 varones de diecisiete etnias de edades entre veinte y treinta años. Una vez obtenida la estructura ósea digital, las piezas dentarias se obtuvieron del escaneo de las superficies coronarias de un sujeto, cuyas caras oclusales fueron trazadas de forma aproximada. Dado que el objetivo de este estudio es la valoración del sistema temporomandibular, sobre todo a nivel muscular y articular, los autores recalcan que la precisión en el trazado dentario no es un elemento fundamental. Un punto importante es la simulación de las estructuras musculares que fueron tomadas de los archivos del Visible Human Project y ajustados con la ayuda de anatomistas.(Van Essen et al. 2005)

Los modelos virtuales también pueden ser empleados para el aprendizaje de destrezas clínicas. Con los simuladores y navegadores del Voxel Man, muchos cirujanos han planificado cirugías, endoscopias... Diversos estudios comparan la eficacia de

trabajar sobre modelos basados en cadáver o modelos virtuales, obteniéndose, en opinión de los expertos, muy buenos resultados al trabajar sobre el sistema virtual, ya que permite una mejor visualización, la reproducibilidad de las situaciones, un menor coste...(Reddy-Kolanu et al. 2011) Si al software o a los fantasmas se asocia un sistema háptico, que permita el control del tacto y las presiones ejercidas, así como dotarlo de propiedades estereoscópicas, tendremos una situación similar a un modelo real.(Park et al. 2008, Voxel Man 2010)

A nivel odontológico, tradicionalmente se ha trabajado sobre fantasmas con tipodontos de resina, que si bien se acercaban a la realidad, flaqueaban en algunos aspectos. Por ello, se originaron simuladores virtuales que tenían como ventaja la facilidad de evaluación del trabajo realizado, mediante su visualización en el ordenador, pero sobre todo el efecto feedback.(Gal et al. 2011)

El DentSim es un simulador creado en los años 90, que consiste en un maniquí con cabeza y torso con tipodontos de la marca Kavo Dental, una turbina y pieza de mano Kavo Dental, una bandeja ajustable, una jeringa de aire y agua, aspiración, lámpara; y un ordenador para generar la realidad virtual. Mientras el estudiante prepara la cavidad sobre los tipodontos, el software crea una imagen virtual de la preparación en el ordenador según se va realizando, además de permitir visualizarla en 3D y otorgarle una calificación al final de la realización del procedimiento.(Rose et al. 1999)

Con ello el estudiante puede evaluar de una forma rápida sus errores, mejorarlos, ver su evolución,...(Rose et al. 1999) Diversos estudios han valorado la eficacia de este sistema como instrumento de aprendizaje de destrezas en cuanto a preparación de cavidades.

En el año 1998 la Universidad de Pensylvania comenzó a utilizarlo con los estudiantes de pregrado, obteniendo resultados satisfactorios.(Buchanan et al. 2004) Un estudio realizado en la universidad de Columbia demostró la eficacia del DentSim al evaluar la progresión en el aprendizaje en un menor tiempo entre un grupo control que realizaba las cavidades sobre un fantoma tradicional, y un grupo estudio que las realizaba sobre el simulador. Ellos lo atribuyen sobre todo a la autoevaluación inmediata que data el software, ya que con el método tradicional los estudiantes tienen que pasar tiempos de espera hasta que el profesor acude a evaluar, perdiendo así la posibilidad de efectuar más práctica en el mismo tiempo.(Jasinevicius et al. 2004)

Un paso adelante, supone la incorporación de sistemas hápticos a estos simuladores virtuales. La palabra “háptico” deriva del griego “*haptein*” que significa contactar o tocar, y aplicados a estos sistemas, permiten al usuario tocar, sentir el objeto que están viendo a través de la realidad virtual, permitiendo al operador y al ordenador intercambiar energía mecánica.(Koralakunte y Aljanakh 2014) La mayoría de los sistemas se basan en joysticks, dedales o bolígrafos, que dependiendo del tiempo y de la posición en la que se encuentren dan información sobre la textura y superficie en la que virtualmente se está trabajando. Tradicionalmente estos sistemas se han utilizado en cirugías.

La Universidad de Odontología de Iowa en colaboración con la Escuela de Ingenieros crearon un sistema háptico basado en un ordenador conectado a un maniquí. En la pantalla se habían generado las secciones de dos dientes, uno con una preparación y otro con caries en el esmalte. Se fabricó un joystick a modo de instrumento rotatorio con propiedades hápticas. Los usuarios afirmaron que era bastante realista la sensación de trabajo sobre los diferentes tejidos dentarios, notándose las diferentes texturas, vibraciones... hecho que demuestra que estos sistemas pueden ser de gran utilidad docente.(Thomas et al. 2001)

Este tipo de sistemas se han extendido a las diferentes áreas de la odontología, mostrando gran utilidad en el campo de la implantología, periodoncia, endodoncia, incluyéndose tejidos como el óseo, el ligamento periodontal (PerioSim)... como objetos de trabajo.(Kusumoto et al. 2006, Steinberg et al. 2007, Ohtani et al. 2009, Suebnukarm et al. 2010)

En la Universidad de Tesalónica crearon un modelo virtual de cabeza a partir de las imágenes de criosecciones del Visible Human Project, que se podía modificar en función del paciente a partir de la toma de dos fotografías del sujeto. Además permitía modelar los dientes, obtener diferentes visiones, elegir la fresa de trabajo... generando una situación cien por cien real.(Marras et al. 2008)

Otro trabajo es el propuesto por Konukseven y cols.(Konukseven et al. 2010) en Turquía, quienes crearon un completo sistema virtual de aplicaciones dentales. El usuario, en una interface puede modificar la rigidez, amortiguación, coeficiente de fricción, módulos de elasticidad... de los diferentes tejidos, para ser aplicados al sistema háptico incorporado. El modelo dental se creó basándose en un sistema de vóxeles en

donde cada capa de tejido fue correctamente segmentada, incluido el tejido cariado cuando así se requería, al igual que los huesos maxilares.

La visualización en todos los planos, así como cualquier tipo de variación en el ángulo de apertura de la mandíbula, aumentos y reducciones, son herramientas incorporadas al software. Además se diseñaron virtualmente instrumentos similares a los usados en operatoria, una turbina con fresa de cavidades, una sonda exploradora, una cucharilla, y un atacador, que se sincronizaría con el sistema háptico.

Los citados autores comprobaron su uso, tras enseñar a un grupo de estudiantes el cómo utilizarlo, familiarizándose en primer lugar con el manejo de este tipo de sistemas, la detección del tejido cariado, su remoción, se les pasó un cuestionario para que opinaran al respecto. La mayoría de los usuarios consiguió una remoción y detección de la caries de una manera satisfactoria, sin embargo encontraron un poco engorroso el sistema en cuanto al empleo del sistema háptico asociado al sistema de realidad virtual.

En la Universidad de Osaka, Yoshida y cols. crearon un sistema háptico, el Hap-dent. Consistía en un software con un diente generado a partir de imágenes tomográficas, un pedal y un joystick. Se podía elegir las diferentes fresas en función de la cavidad y el corte a realizar. Con el pedal ajustaban la velocidad y con el joystick dirigían la pieza de mano.(Yoshida et al. 2011)

Con este sistema se pretendía medir las fuerzas aplicadas sobre la superficie del diente, en función del material en el que se está trabajando, esmalte o dentina, para poder generar un modelo virtual con los diferentes grados de dureza que simule una situación real. Los autores concluyen en la importancia de la creación de estos simuladores en cuanto a un avance tecnológico, así como una reducción en el coste docente, otorgándose al alumno una mayor capacidad de autocorrección y feedback sin la necesidad de que el profesor esté presente. (Yoshida et al. 2011)

En el campo de la enseñanza de implantología dental, en Estados Unidos y recientemente en Europa, se están creando normativas dirigidas emplear estos sistemas como aprendizaje clínico previo al trabajo en pacientes.(Bilotta et al. 2013) De hecho en la European Consensus Conference celebrada en Praga en el año 2008, se fijaron unas recomendaciones que incluían la adquisición de destrezas basadas en simuladores

virtuales.(Mattheos et al. 2008, Joseph et al. 2014)

Con este trabajo de investigación pretendemos emplear nuestro modelo con fines similares a estos, de tal forma que el alumno pueda adquirir destrezas clínicas, que le permitan enfrentarse previamente a las complejidades que pueda presentar el trabajar con un paciente infantil.

A través de todo ello el alumno comprobaría , antes de comenzar la clínica real con el paciente infantil, las dificultades de enfrentarse a un tamaño bucal más pequeño, familiarizarse con las características anatómicas y morfológicas de la dentición temporal...

Por su parte, en el campo de la endodoncia, Suebnukarn y cols crearon un modelo virtual acompañado de un sistema háptico para la preparación del acceso a cavidades para la realización de tratamientos de conductos. Obtuvieron los modelos a partir de imágenes tomográficas. En opinión de los autores, los alumnos que habían practicado el acceso previo sobre un modelo virtual, realizaban menos errores a la hora de enfrentarse a una situación real. Esto demuestra la eficacia de los simuladores como herramienta de aprendizaje previo a la realidad clínica.(Suebnukarn et al. 2011)

Empleando el simulador dental del Voxel Man, Pohlenz y cols, crearon un modelo con infecciones periapicales en determinados dientes. Utilizando los sistemas hápticos asociados, un “bolígrafo” a modo de pieza de mano y un pedal para regular la fuerza, los usuarios procedían a realizar las apicectomías de dichos dientes. En todo momento el usuario podía comprobar la orientación de la fresa, las relaciones con las diferentes estructuras mediante los diferentes cortes tomográficos... Tras realizar una encuesta en cuanto a satisfacción en su uso, la mayoría de los participantes encontraron muy útil el sistema y con un realismo absoluto.(Pohlenz et al. 2010) Este sistema es de suma importancia ya que no se basa en sistemas finitos o reconstrucciones digitales, las imágenes se han obtenidos a partir de cortes tomográficos reales que son una fuente fidedigna de datos.

También podemos comprobar cómo el programa Amira no sólo se ha utilizado para la creación de modelos con fines docentes; Mazzotta et al nos demuestran su uso en ortodoncia. Con él hacen una valoración de la posición y conicidad radicular a partir de las radiografías panorámicas de un grupo de pacientes. También hacen incapié en la

posibilidad de sacar un mayor uso a las imágenes tomográficas, ya que éstas nos otorgan unos datos más fiables y precisos que las imágenes panorámicas convencionales.(Mazzota et al. 2013).

En la mayoría de artículos consultados encontramos que el mayor handicap de estos sistemas es el coste de instalación y mantenimiento, así como la necesidad de adquirir por parte del usuario, unas destrezas previas para la adaptación al sistema háptico. No obstante los beneficios son amplios, sobre todo, por el hecho de otorgar al alumno un mayor grado de seguridad previa al trabajo sobre un paciente real, reduciendo igualmente la presencia del docente en la evaluación.(Urbankova et al.)

Hasta ahora, hemos podido comprobar que los estudios basados en modelos virtuales suponen una herramienta de gran utilidad tanto en el campo de la anatomía como en la adquisición de destrezas manuales. Pero los sistemas encontrados están basados en especímenes adultos. Por ello, creemos que nuestro proyecto supondría un avance, un paso más en estas áreas. El estudio del complejo maxilo- mandibular en desarrollo, la evolución en la secuencia eruptiva, la formación de los gérmenes dentarios... son aspectos fundamentales en el aprendizaje de la anatomía del macizo maxilofacial, así como en Odontopediatria.

En un futuro, sería interesante generar un software de simulación similar al del *Voxel Man*, en su versión dental, que sería pionero a nivel de sujeto infantil. Creemos además que el empleo del programa Amira es un avance en cuanto a interactividad, y no sólo como herramienta de trabajo encargada de segmentar y etiquetar. Con él, el alumno podría manejar los tres planos del espacio de una forma intuitiva y sencilla.

En aras a mejorar la aplicación clínica anatómica se encuentra en las ideas futuras de nuestro grupo el poder crear una herramienta con sistemas hápticos similares a los empleados en las universidades de Alemania, Turquía o Iowa, sin perder de vista que trabajaríamos sobre un modelo infantil, inexistente hasta la actualidad en este campo.

LIMITACIONES DE NUESTRO ESTUDIO

En nuestro proyecto, hemos conseguido segmentar las diferentes estructuras anatómicas del complejo maxilo- mandibular, datos de utilidad anatómica y odontopediátrica.. Sería interesante igualmente proceder a datar al sistema de

propiedades estereoscópicas y asociarle un sistema háptico para su aplicación a nivel de operatoria. No obstante, somos conocedores del importante coste económico que ello supondría. Algo más sencillo sería simular situaciones reales (pulpotomías, selladores de fosas y fisuras, preparación de cavidades...), que serían un elemento didáctico para que el estudiante se fuese familiarizando con las situaciones reales antes de enfrentarse a la práctica con pacientes.

8.- CONCLUSIONES

1. La llegada del sistema educativo basado en el Plan Bolonia es una realidad. El autoaprendizaje basado en ensayo y error, es una estrategia de suma utilidad para el estudiante. Con un modelo interactivo, el alumno es capaz de valorar sus conocimientos instantáneamente, sin que sea imprescindible la presencia física del profesor.
2. A través de este modelo real, hemos descrito el estudio anatómico de la dentición temporal, así como sus interacciones con la dentición permanente en desarrollo, de una forma tridimensional.
3. Las imágenes conseguidas sobre los gérmenes de los dientes permanentes en desarrollo en esta tesis doctoral, nos permiten evaluar estas estructuras de forma individual y tridimensional en un sujeto humano de tres años de edad.
4. Nuestros objetivos de cara a futuros trabajos, irán dirigidos a la posibilidad de otorgar mejoras en los avances tecnológicos, como la inclusión de sistemas hápticos para la aplicación clínica a la enseñanza en Odontología .

9.- BIBLIOGRAFÍA

1. 3D-DOCTOR, medical modeling, 3D medical imaging. (acceso en octubre de 2013). Disponible en: <http://www.ablesw.com/3d-doctor/3ddoctor.html>
2. Alcalde E. García M. Informática Básica. 2ª ed. Madrid: Mc Graw Hill; 1994.
3. Amira. Visualization Science Group. (acceso en octubre de 2013). Disponible en: <http://www.vsg3d.com/amira/overview>
4. Ash N. Anatomía, fisiología y occlusion dental. 9ª ed. Barcelona: Elseiver; 2010.
5. Bagaria V, Rasalkar D, Bagaria SJ, Ilyas J. Medical applications of rapid prototyping- a new horizon, Advanced Applications of Rapid Prototyping Technology in Modern Engineering, Dr. M. Hoque (Ed.), ISBN: 978-953-307-698-0, InTech, (acceso en septiembre de 2013). Disponible en: <http://www.intechopen.com/books/advanced-applications-of-rapid-prototyping-technology-in-modern-engineering/medical-applications-of-rapid-prototyping-a-new-horizon>
6. Bashkar S. Histología y embriología bucal de Orban. 11ª ed. México: Editorial Prado; 2000.
7. Berkovitz BKB, Holland GR, Moxhan BJ. Development of the face. En: Berkovitz BKB, Holland GR, Moxhan BJ. Oral anatomy, histology and embriology. 4ª ed. UK: Mosby Elsevier; 2009. p. 278-9..
8. Berkovitz BKB, Holland GR , Moxhan BJ. Development of the jaws. En: Berkovitz BKB, Holland GR , Moxhan BJ. Oral anatomy, histology and embriology. 4ª ed. UK: Mosby Elsevier; 2009. p. 293-5.
9. Bichlmeier C, Ockert B, Kutter O, Rustae M, Heining SM, Navab N. The Visible Korean Human Phantom: Realistic Test & Development Environments for Medical Augmented Reality. *International Workshop on Augmented environments for Medical Imaging including Augmented Reality in Computer-aided Surgery*. New York (USA) 2008.
10. Bilotta FF, Werner SM, Bergese SD, Rosa G. Impact and implementation of simulation-based training for safety. *Scientific World Journal* 2013;7;2013:652956
11. Bretón P. Historia y crítica de la informática. 1ª ed. Madrid: Ediciones Cátedra S.A; 1989.
12. Buchanan JA. Experience with virtual reality-based technology in teaching restorative dental procedures. *J Dent Educ* 2004;68(12):1258-65.

13. De Vos W, Casselman J, Swennen GR. Cone-beam computerized tomography (CBCT) imaging of the oral and maxillofacial region: a systematic review of the literatura. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2009;38:609-25.
14. El Khalili N. 3D Web- Based Anatomy Computer- Aided Learning Tools. *Int Arab J Inf Tech* 2005;2(3):248-52.
15. Enlow D. The Facial Growht process. En: Enlow D. *Facial Growth*. 3^a ed. Philadelphia: Saunders Company; 1990. p. 58-148.
16. Gal GB, Weiss EI, Gafni N, Ziv. Preliminary assessment of faculty and student perception of a haptic virtual reality simulator for training dental manual dexterity. *J Dent Educ* 2011;75(4):496-504.
17. Glenn J. A consumer-oriented model for evaluating computer-assisted instructional materials for medical education. *Acad Med* 1996;71:251-5.
18. Gómez de Ferraris ME, Campos Muñoz A. *Histología y embriología bucodental*. 2^aed. Madrid: Panamericana; 2002.
19. Jacoby CG Smith WL, Albanese MA. An evaluation of computer-assisted instruction in radiology. *AJR Am J Roentgenol* 1984;143:675-7.
20. Jaffe CC, Lynch PJ. Computer-aided instruction for radiologic education. *RadioGraphics* 1993;13:931-7.
21. Jang HG, Chung MS, Shin DS, Park SK, Cheon KS, Park HS, Park JS. Segmentation and surface reconstruction of the detail ear structures, identified in sectioned images. *Anat Rec* 2011;294:559-64.
22. Jasinevicius TR, Lander M, Nelson S, Urbakova A. An evaluation of two dental simulation systems: virtual reality versus contemporary non-computer-assisted. *J Dent Educ* 2004;68(11):1151-62.
23. Jin SP, Min S, Sung BH, Byenong-Seok S, Park HS. Visible Korean human: its techniques and applications. *Clin Anat* 2006;19:216-24.
24. Jones DG. Reassessing the importance of dissection: A critique and elaboration. *Clin Anat* 1997;10:123-7.
25. Joseph D, Jehl JP, Maureira P, Perrenot C, Miller N, Bravetti P et al. Relative contribution of haptic technology to assessment and training in implantology. *Biomed Res Int* 2014;2014:413951.
26. Juanes JA, Prat A, Lagándara ML, Riesco JM. Aplication of the “Visible Human Project” in the field of anatomy: a review. *Eur J Anat* 2003;7(3):147-59.

27. Juanes A, Ruisoto P, Riesco J, Prats A. Development of anatomical and radiological digital brain maps. *Eurr J Anat* 2012;16(2):91-7.
28. Kitamura H. Early development of the teeth. En: Kitamura H. *Oral embriology and pathohistology*. 1ª ed. Tokio: Ishiyaku EuroAmerica; 1998. p. 1-37.
29. Konukseven EI, Önder E, Mumcuoglu E, Kisnisci RS. Development of a visio-haptic integrated dental training simulation system. *J Dent Educ* 2010;74(8):880-91.
30. Koralakunte PR, Aljanakh M. The role of virtual articulator in prosthetic and restorative dentistry. *J Clin Diagn Res* 2014; 8(7):ZE 25-8.
31. Kusumoto N, Sohmura T, Yamada S, Wakabayashi K, Nakamura T, Yatani H. Application of virtual reality force feedback haptic device for oral implant surgery. *Clin Oral Implants Res* 2006;17(6):708-13.
32. Kuszyk BS, Calhoun PS, Soyer PA, Fishman EK. An interactive computer-based tool for teaching the segmental anatomy of the liver: usefulness in the education of residents and fellows. *AJR Am J Roentgenol* 1997;169:631-4.
33. Logan WHG, Kronfeld R. Development of the human jaws and surrounding structures from birth to age fifteen. *J Am Dent Assoc* 1933;20:379.
34. López MLL. *Procedimiento Informático para la Generación de Estructuras Cerebrales Tridimensionales*. Salamanca: Universidad de Salamanca; 2003.
35. Loubele M, Maes F, Schutyser F, Marchal G, Jacobs R, Suetens P. Assessment of bone segmentation quality of cone-beam CT versus multislice spiral CT: a pilot study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006;102:225-34.
36. Lumsden AG. Spatial organization of the epithelium and the role of neural crest cells in the initiation of the mammalian tooth germ. *Development* 1988;103:155-69.
37. Marchetti C, Bianchi A, Bassi M, Gori R, Lamberti C, Sarti A. Mathematical modeling and numerical simulation in maxillo-facial virtual surgery (VISU). *J Craniofac Surg* 2006;17:661-7.
38. Marras I, Nikolaidis N, Mikrogeorgis G, Lyroudia K, Pitas I. A virtual system for cavity preparation in endodontics. *J Dent Educ* 2008;72(4):494-502.
39. Mattheos N, Albrektsson T, Buser D, De Bruyn H, Donos N, Hjørtting Hansen E et al. Teaching and assessment of implant dentistry in undergraduate and

- postgraduate education: a European consensus. Eur J Dent Educ 2009;13 suppl 1:11-7.
40. Mazzota L, Cozzabi M, Razionale A, Mutinelli S, Castaldo A, Silvestrini-Biavati A. From 2D to 3D: Construction of a 3D parametric model for detection of dental roots shape and position from a panoramic radiograph. A preliminary report. Int J Dent 2013; 2013:964631.
 41. McLachlan JC, Bligh J, Bradley P, Searle J. Teaching anatomy without cadavers. Med Educ 2004;38:418-24.
 42. Mendoza A, Solano E. Desarrollo y erupción dentaria. En: Boj JR, Catalá M, García- Ballesta C, Mendoza A, Planells P. Odontopediatría La evolución del niño al adulto joven. 1ª ed. Madrid: Ripano 2010. p. 69-84.
 43. Mérida Velasco JR, Rodríguez Vázquez J, Mérida Velasco JA, Sánchez Montesinos I, Espín J, Jiménez J. Development of the human temporomandibular joint. Anat Rec 1999;255(1):20-33.
 44. Mérida Velasco JR, Rodríguez Vázquez JF, De la Cuadra Blanco C, Campos López R, Sánchez Montesinos I, Mérida Velasco JA. Development of the human mandibular condylar cartilage in human specimens of 10-15 weeks' gestation. J Anat 2009;214:56-64.
 45. MIMICS. Biomedical Software and Services for Engineering on Anatomy by Materialise. (acceso en octubre de 2013). Disponible en: <http://biomedical.materialise.com/mimics>
 46. Mjör IA, Pindborj JJ. Odontogénesis. En: Mjör IA, Pindborj JJ. Histología del diente humano. 1ª ed. Barcelona: Labor; 1973. p. 17-32.
 47. Mjör IA Fejerskov O. Embriología e Histología Oral Humana. 1ª ed. Barcelona: Salvat Editores; 1989
 48. Morres CFA. Normal Variation in dental developments determined with reference to tooth eruption status. J Dent Res 1965;44:161-73.
 49. Moyers R. Manual de Ortodoncia. 4ª ed. Buenos Aires: Ed. Panamericana; 1992; p. 166-94.
 50. Nanci A. Embriology of the Head, Face and Oral Cavity. En: Nanci A. Ten Cate's Oral Histology: Development, Structure, and Function. 7ª ed. St. Louis: Mosby Elsevier; 2008. p. 32-56.

51. Nanci A. Development of the Tooth and Its Supporting Tissues. En: Nanci A. Ten Cate's Oral Histology: Development, Structure, and Function. 7^a ed. St. Louis: Mosby Elsevier; 2008. p. 79-107.
52. Nguyen N, Wilson TD. A head in virtual reality: Development of a dynamic head and neck model. *Anat Sci Educ* 2009;2:294-301.
53. Ohtani T, Kusumoto N, Wakabayashi K, Yamada S, Nakamura T, Kumazawa Y et al.. Application of haptic device to implant dentistry-accuracy verification of drilling into a pig bone. *Dent Mater J* 2009;28(1):75-81.
54. Panait L, Akkary E, Bell RL, Roberts KE, Dudrick SJ, Duffy AJ. The role of haptic feedback in laparoscopic simulation training. *J Surg Res* 2009;156:312-6.
55. Park C. Computer assisted instruction in medical education. *Ann R Coll Phys Surg Can* 1981;14:374-7.
56. Park JS, Chung MS, Hwang SB, Lee YS, Har DH, Park HS. Visible Korean Human. Improved serially sectioned images of the entire body. *IEE Trans Med Imaging* 2005;24(3):352-60.
57. Park JS Chung MS, Hwang SB, Lee YS, Har DH, Park HS. Visible Korean Human: Its Techniques and Applications. *Clin Anat* 2006;19:216-24.
58. Park JS, Shin DS, Chung MS, Hwang SB, Chung J. Technique of semiautomatic surface reconstruction of the Visible Korean Human data using commercial software. *Clin Anat* 2007; 20:871-9.
59. Park JS, Jung YW, Lee JW, Shin DS, Chung MS, Riemer M et al. Generating useful images for medical applications from the Visible Korean Human. *Comput Methods Programs Biomed* 2008;92:257-66.
60. Petersson H, Sinkvist D, Wang C, Smedby Ö. Web-based interactive 3D visualization as a tool for improved anatomy learning. *Anat Sci Ed* 2009; 2:61-8.
61. Piemme TE. Computer-assisted learning and evaluation in medicine. *JAMA* 1988;260:367-72.
62. Pohlenz P, Gröbe A, Petersik A, von Sternberg N, Pflesser B, Pommert A et al. Virtual dental surgery as a new educational tool in dental school. *J Craniomaxillofac Surg* 2010;38(8):560-64.
63. Pommert A, Höhne KH, Burmester E, Gehrman S, Leuwer R. Computer- based anatomy: A prerequisite for computer-assisted radiology and surgery. *Acad Radiol* 2006;13(1):104-12.

64. Ranly DM. Synopsis of Craniofacial Growth. En Development of the human dentition. 2ª ed. California 1988. Ed. Appleton & Lange p. 165-79.
65. Reddy-Kolanu G, Alderson D. Evaluating the effectiveness of the Voxel- Man TempoSurg virtual reality simulator in facilitating learning mastoid surgery. Ann R Coll Surg Engl 2011;93(3):205-8.
66. Rodríguez Vázquez JF, Mérida Velasco JR, Jiménez Collado J. Development of the human sphenomandibular ligament. Anat Rec 1992;233:453-460
67. Rodríguez Vázquez JF, Mérida Velasco JR, Jiménez Collado J. Relationships between the temporomandibular joint and the middle ear in human fetuses. J Dent Res 1993;72:62-66
68. Rodríguez Vázquez JF, Mérida Vleasco JR, Mérida Velasco JA, Sánchez Montesinos I, Espín Ferra J, Jiménez Collado J. Development of Meckel's cartilage in the symphyseal region in man. Anat Rec 1997;249:249-254.
69. Rodríguez Vázquez JF, Mérida Velasco JR, Mérida Velasco JA, Jiménez Collado J. Anatomical consideratiosn on the discomalleolar ligament. J. Anat 1998;192:617-621.
70. Rose JT, Buchanan JA, Sarrett DC. The DentSim system. J Dent Educ 1999;63(5):421-3.
71. Rouvière H, Delmas A. Anatomía humana. Descriptiva, topográfica y funcional. 10ª ed. Barcelona: Masson; 2001. p. 73.
72. Rouvière H, Delmas A. Anatomía humana. Descriptiva, topográfica y funcional. 10ª ed. Barcelona: Masson; 2001. p. 87-94.
73. Rubio AM. La historia de la informática. 1ª ed. Madrid: Anaya Multimedia; 1996.
74. Schour I, Massler M. Studies in tooth development: The growth pattern of human teeth. Part II. J Am Dent Assoc 1940;27:1918-31.
75. Schulze C. Anomalías en el desarrollo de los dientes y maxilares. En: Gorlin RJ y Goldman HM. Patologíaa Oral. 1ª ed. Barcelona: Salvat Editores; 1973. P.209-26.
76. Schutyser F, Swennen G, Suetens P. Robust visualization of the dental occlusion by a doublé scan procedure. Med Image Comput Assist Interv 2005;8:368-74.
77. Shin DS, Chung MS, Lee JW, Park JS, Chung J, Lee SH: Advanced surface reconstruction technique to build detailed surface models of the liver and

- neighboring structures from the Visible Korean Huma. J Korean Med Sci 2009; 24:375-83.
78. Shin DS, Seo JS, Park BS, Shin BS, Chung MS. Surface models of the male urogenital organs built from the Visible Korean using popular software. Anat Cell Biol 2011; 4:151-9.
 79. Shin DS, Park JS, Chung MS. Three types of the serial segmented images suitable for surface reconstruction. Anat Cell Biol 2012; 45:128-35.
 80. Sobotta J. Cabeza y cuello. En: Sobotta J. Atlas de Anatomía Humana. 20 ed. Madrid: Ed. Médica Panamericana; 1993. p. 28-159.
 81. Solano E, Mendoza A. Crecimiento craneofacial y desarrollo de las arcadas dentarias. En: Boj JR, Catalá M, García- Ballesta C, Mendoza A, Planells P. Odontopediatría La evolución del niño al adulto joven. 1ª ed. Madrid: Ripano; 2010. p. 45.
 82. Spicer MA, Apuzzo ML. Virtual reality surgery. Neurosurgery and the contemporary landscape. Neurosurgery 2003;52:489-97.
 83. Spitzer V, Ackerman MJ, Scherzinger AL, Whitlock D. The Visible Human Male: A Technical Report. J Am Med Inform Assoc 1996;3:118-30.
 84. Steinberg AD, Bashook PG, Drummond J, Ashrafi S, Zefran M. Assessment of faculty perception of content validity of PerioSim, a haptic-3D virtual reality dental training simulator. J Dent Educ 2007;71(12):1574-82.
 85. Suebnukarm S, Haddawy P, Rhienmora P, Gajananan K. Haptic virtual reality for skill acquisition in endodontics. J Endod 2010;36(1):53-5.
 86. Suebnukarn S, Hataidechadusadee R, Suwannasri N, Suprasert N, Rhienmora P, Haddawy P. Access cavity preparation training using haptic virtual reality and microcomputed tomography root models. Int Endod J 2011;44:983-9.
 87. Tanguay R, Demirjian A, Thibault HW. Sexual Dimorphism in the emergence of the deciduous teeth. J Dent Res 1984;63(1):65-8.
 88. Temkin B, Acosta E, Hatfield P, Onal E, Tong A. Web-based three-dimensional virtual body structures: W3D- vBS. J Am Med Inform Assoc 2002;9:425-36
 89. Terminologia Anatomica (1998). Federative Committee on Anatomical Terminology. Thieme New York
 90. The Visible Human Project. US National Library of Medicine. Bethesda. NLM; 1997 (acceso en diciembre de 2010). Disponible en: http://www.nlm.nih.gov/research/visible/visible_human.html.

91. Thesleff I, Vaahtokari A, Vainio S. Molecular changes during determination and differentiation of the dental mesenchymal cell lineage. *J Biol Buccale* 1990;18:177-88.
92. Thesleff I. Tooth development. *Dental Update* 1991:382-6.
93. Thomas BL, Sharpe PT. Patterning of the murine dentition by homeobox genes. *Eur J Oral Sci* 1998;106 Suppl 1:48-54.
94. Thomas BL, Tucker AS, Ferguson C, Qiu M, Rubenstein JL, Sharpe PT. Molecular control of odontogenic patterning: positional dependent initiation and morphogenesis. *Eur J Oral Sci* 1998;106 Suppl 1:44-7.
95. Thomas G, Johnson L, Dow S, Stanford C. The design and testing of a force feedback dental simulator. *Comput Methods Programs Biomed* 2001;64(1):53-64.
96. Torales OE. Diseño y evaluación de una aplicación multimedia para la enseñanza de radiología a alumnos de Medicina (AMERAM) Málaga: Universidad de Málaga; 2008.
97. Trelease RB, Nieder GL, Dorup J, Hansen MS. Going virtual with quicktime VR: New methods and standardized tools for interactive dynamic visualization of anatomical structures. *Anat Rec* 2000; 15:64-77.
98. Urbankova A, Engebretson SP. The use of haptics to predict preclinic operative dentistry performance and perceptual ability. *J Dent Educ* 2011;75(12):1548-57.
99. Ureña LA, Sánchez AM, Martín MT, Maullas JM. Fundamentos de la informática. 1ª ed. Madrid: RA-MA;1997.
100. Van Essen NL, Anderson IA, Hunter PJ, Carman JB, Clarke RD, Pullan. Anatomically based modelling of the human skull and jaw. *Cells Tissues Organs* 2005;180:44-53.
101. Varga E, Hammer B, Hardy BM, Kamer L. The accuracy of three-dimensional model generation. What makes it accurate to be used for surgical planning? *Int J Oral Maxillofac Surg* 2013;42:1159-66.
102. Voxel Man. Hamburgo: voxel-man.de;2001 (acceso en marzo de 2011). Disponible en: <http://www.voxel-man.de>.
103. Weiss K, Stock D, Zhao Z, Buchanan A, Ruddell F, Shashikant C. Perspectives on genetic aspect of dental patterning. *Eur J Oral Sci* 1998;106 Suppl 1:55-63.

104. Winkelmann A. Anatomical dissection as a teaching method in medical school: A review of the evidencia. *Med Educ* 2007; 41:15-22.
105. Yoshida Y, Yamaguchi S, Kawamoto Y, Noborio H, Murakami S, Sohmura T. Development of a multi-layered virtual tooth model forr the haptic dental training system. *Dent Mater J* 2011;30(1):1-6.
106. Yuan Y Qi L, Luo S. The reconstruction and application of virtual Chinese human female. *Comput Methods Programs Biomed* 2008;92(3):249-56.
107. Zhang SX, Heng PA, Liu ZJ, Tan LW, Qiu MG, Li QY et al. Creation of the Chinese Visible Human data Set. *Anat Rec B New Anat* 2003;275(1):190-5.
108. Zhang SX, Heng PA, Liu ZJ, Tan LW, Qiu MG, Li QY et al. The Chinese Vissible Human (CVH) datasets incorporate technical and imaging advances on earlieer digital humans. *J Anat* 2004;204:165-73.
109. Zhang Y, Tang L, Chen M. Construction of a three-dimensional mandible model containing teeth based on the Virtual Chinese Human data. *Nan Fang Yi Ke Da Xue Xue Bao* 2008;28(8):1449-51.

10.- ANEXO

CD- ROM con el programa Amira 5.3.0. y con el modelo máxilo-mandibular segmentado y etiquetado en su totalidad.